



Tomás Carvalho Gonçalves de Moura

Licenciatura em Engenharia de Materiais

**Estudo da influência de parâmetros
composicionais, geométricos e de
processamento na produção de garrafas de
PET por Injeção-Sopro**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia de Materiais

Orientador: Professora Doutora Maria Teresa Cidade,
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de
Lisboa

Co-orientadores: Eng^a Maria Eugenia Zacarias, Eng^o
Bruno Machado, Logoplaste

Presidente: Prof. Doutor João Paulo Miranda Ribeiro Borges

Abril 2018



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA



Tomás Carvalho Gonçalves de Moura

Licenciatura em Engenharia de Materiais

**Estudo da influência de parâmetros
composicionais, geométricos e de
processamento na produção de garrafas de
PET por Injeção-Sopro**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia de Materiais

Orientador: Professora Doutora Maria Teresa Cidade, Faculdade de
Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Co-orientadores: Eng^a Maria Eugénia Zacarias, Eng^o Bruno
Machado, Logoplaste

Presidente: Prof. Doutor Prof. Doutor João Paulo Miranda Ribeiro Borges

Abril 2018

Estudo da influência de parâmetros composicionais, geométricos e de processamento na produção de garrafas de PET por Injeção-Sopro Copyright © Tomás Carvalho Gonçalves de Moura, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpetuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer especialmente à Professora Teresa Cidade pela orientação durante a elaboração desta tese e pelo tempo que levou a rever cada palavra desta! Ao Professor João Paulo Borges pelo apoio e dedicação que ofereceu a todos os alunos do DCM sempre dando o seu melhor para que conseguíssemos ultrapassar os obstáculos.

Queria agradecer a todo o Staff da Logoplaste Innovation Lab que me acolheu e sempre se mostrou disponível para me ajudar, mesmo quando o tempo não era muito em especial ao Engenheiro Bruno Machado e Maria Eugenia Zacarias que aceitaram coordenar a elaboração desta tese dentro da empresa e cuja orientação e apoio foi imprescindível para a realização da mesma!

Amigos e família são responsáveis por outro tipo de ajudas, gostaria de agradecer a minha família, pai e mãe que trabalharam durante 25 anos para este momento, que me fizeram quem sou e quem vou ser, que me deram tudo, o que pedi e o que não pedi, o valor do que recebi é incalculável e por isso estarei eternamente em dívida para com eles! À minha avó e avô que sempre fizeram tudo por mim sem pedir nada em troca, que foram uns segundos pais, mesmo quando não era preciso, sempre estiveram lá para tudo. Queria também agradecer ao meu tio Jorge por me tratar como um filho e estar sempre disponível para tudo, devendo-lhe eu também muito carinho e estima. Esta tese serve como um obrigado por tudo para eles. Gostaria também de agradecer a todos os meus amigos que me ajudaram a “relaxar” durante esta fase da minha vida, ao João Duarte, que foi o meu companheiro e amigo durante toda a faculdade estando lá nos bons e nos maus momentos, incluindo as noites a estudar na garagem juntamente com o João Rodrigues, Filipa Gonçalves, André Barreiro e ocasionalmente a Clara Sobral! Fora da faculdade os amigos também foram importantes, Miguel Henriques, Patrícia Bacalhau, Diogo Ribeiro e Barbara Oliveira são amigos para a vida com os quais posso sempre contar.

Maria de Lurdes Marrinhas merece toda a minha admiração e respeito, a Lurdes esteve lá sempre, sempre a mover-me para a frente, sempre a apoiar, sempre a motivar e a tentar ajudar a melhorar, sacrificou todo o pouco tempo que tinha para me ajudar a dar o meu melhor e a melhorar o que já tinha feito. Sem a Lurdes esta tese não seria a mesma, o seu contributo foi e é essencial, para a tese e para tudo o resto!

Agradeço a todos os outros que não referi, mas cuja importância guardo sempre comigo. Obrigado a todos, por tudo!

Resumo

O consumo de água engarrafada tem vindo a aumentar em todo o mundo. De forma a reduzir desperdícios e consumos energéticos é essencial perceber como certos parâmetros na produção de garrafas de PET influenciam o produto final. As garrafas são geralmente produzidas por Sopro, a partir de pré-formas previamente fabricadas por moldação por injeção, que são posteriormente aquecidas e sopradas para um molde, produzindo a garrafa.

Com o objetivo de otimizar o processo de produção, a Logoplaste (Cascais) propôs este estudo, procurando novas formas para reduzir consumos e desperdícios. Foram assim estudados diversos tipos de garrafa e pré-formas, com diferentes geometrias, pesos e composições. Durante o estudo, a potência do forno foi alterada com o objetivo de entender a influência deste parâmetro de produção na distribuição de material do produto final. Por outro lado, o processo de aquecimento das pré-formas é significativamente afetado pela presença de pigmentos. Assim, de forma a analisar a influência deste efeito na distribuição da espessura no produto final, foram realizados ensaios onde se variou o pigmento ou os corantes, bem como a potência do forno, em garrafas com geometrias e pesos iguais. Com recurso a DSC foi estudada a relação entre a cristalinidade e o corante de duas garrafas com pré-formas iguais. Por fim, foram ainda comparadas garrafas iguais produzidas em ambiente laboratorial e industrial, procurando-se comparar os perfis de temperatura das pré-formas e a distribuição de material nas garrafas.

Termos chave: PET, Injeção-Sopro, Pigmentos, Otimização, Espessura

Abstract

The consumption of bottled water is on the rise all around the world. To reduce waste and energy consumption it is essential to understand how certain parameters in the production process of PET bottles, affect the final product. Bottles are generally produced by Blow Molding, first raw material is injected forming preforms, these will be reheated and blown into a mold to form a bottle.

In order to optimize the production process, Logoplaste (Cascais) proposed this study, to find new ways to reduce consumptions and waste. Various bottle types and preforms were studied with different geometries, weight and chemical composition. During the study, the oven power was changed to understand the influence of this parameter in the distribution of the material in the final product. The use of pigments has a significant impact on the reheating of the preforms. In order to study this effect on the material distribution tests were made where the oven power and the pigment was changed in bottles with the same geometry and weight. Using the DSC technique, the relationship between crystallinity the dye between two identical bottles and using the same preform, aside from the pigment was studied. Finally, similar bottles were made in a laboratory and in a factory to compare the temperature profile of the preforms.

Keywords: PET, Injection Stretch Blow Molding, Thickness, Pigment, Optimization

Índice de matérias

1.	Introdução teórica.....	1
1.1.	Enquadramento	1
1.2.	Materiais poliméricos.....	2
1.3.	Polietileno tereftalato (PET).....	2
1.4.	Fabrico de garrafas em PET	3
1.4.1.	Moldação por Injeção	4
1.4.2.	Moldação-Sopro	5
2.	Procedimento Experimental.....	7
2.1.	Materiais	7
2.2.	Métodos.....	7
3.	Resultados e Discussão.....	11
3.1.	Estudo do efeito do pigmento.....	11
3.2.	Variação de potência no forno	13
3.2.1.	White	14
3.2.2.	Pearl.....	15
3.2.3.	Clear	17
3.2.4.	Luso	18
3.2.5.	Dion.....	20
3.2.6.	Água do Porto.....	22
3.2.7.	Água de Coimbra.....	23
3.3.	Comparação Laboratório e Fábrica.....	25
3.4.	Validação de SBM Simulator	26
3.5.	Relação Cristalinidade – Pigmento.....	28
4.	Conclusões.....	29
5.	Anexos	33
5.1.	Número de pré-formas recolhidas.....	33
5.2.	Número de Garrafas recolhidas	33
5.3.	Comparação de parâmetros de produção	33
5.4.	Configuração dos fornos	37
5.5.	Valores do perfil de temperatura.....	41
5.6.	Espessuras medidas	48
5.7.	Medições dos valores de K.....	49
5.7.1.	Garrafas estudadas.....	49
5.7.2.	Gráficos de K.....	51

5.8. Ks para validação do SBM	54
5.8.1. Garrafas de Kansas	54
5.8.2. Garrafas da Holanda	56
5.8.3. Garrafas de Espanha	61
5.9. Gráficos DSC	62

Índice de Figuras

Figura 1.1 - Evolução do consumo de água engarrafada.....	1
Figura 1.2 - Estruturas poliméricas	2
Figura 1.3 - Unidade repetitiva de PET onde: 1 - Etileno - fornece flexibilidade a estrutura; 2 - Ester - responsável pela natureza polar; 3 - Anel benzénico - torna a estrutura mais resistente; 4 - Grupo Tereftalato – Conjugação do ester com o anel benzénico.	3
Figura 1.4 - Máquina de Injeção	4
Figura 1.5 - Processo de Sopro.....	6
Figura 2.1 - Método de medição com Magna Mike	10
Figura 3.1 - Garrafa MARS White.....	11
Figura 3.2 - Garrafa MARS Pearl	11
Figura 3.3 - Garrafa MARS Clear	11
Figura 3.4 - Face White 90 graus	14
Figura 3.5 - Face White 0 graus	14
Figura 3.6 - Face Pearl 90 graus.....	15
Figura 3.7 - Face Pearl 0 graus.....	15
Figura 3.8 - Face Clear 90 graus	17
Figura 3.9 - Face Clear 0 graus	17
Figura 3.10 - Garrafa Luso	18
Figura 3.11 - Faces da Garrafa Dion com 2 pegas	20
Figura 3.12 - Faces da Garrafa Dion com pega e sem pega	20
Figura 3.13 - Comparação entre Dion e Águas do Porto	20
Figura 3.14 - Comparação entre Dion e Luso	20
Figura 3.15 - Garrafa Água do Porto.....	22
Figura 3.16 - Garrafa Águas de Coimbra, com gravação	23
Figura 3.17 - Água do Porto sem pigmento	28
Figura 3.18 - Água do Porto com pigmento.....	28

Índice de tabelas

Tabela 2.1- Propriedades dos materiais utilizados	7
Tabela 2.2- Viscosidade dos pigmentos usados	7
Tabela 2.3- Número de pré-formas White, Pearl e Clear recolhidas durante C-RUN e outros ensaios..	8
Tabela 2.4- Número de garrafas MARS 300ml White, Pearl e Clear recolhidas durante C-Run e outros ensaios	8
Tabela 2.5- Comparação de parâmetros em White.	9
Tabela 2.6 - Rácios de estiramento da garrafa	10
Tabela 3.1 - Espessura das pré-formas	21
Tabela 3.2 - Comparação de valores de K reais e teóricos em garrafas Fusion Fluid S Clear	27
Tabela 3.3 - Comparação de valores de K reais e teóricos em garrafas Fusion Fluid S Cream	27
Tabela 3.4 - Comparação de valores de K reais e teóricos em garrafas Fusion Fluid S Red	27
Tabela 3.5 - Valores de cristalinidade das garrafas de Água do Porto	29
Tabela 5.1- Número de pré-formas de Dion, Água do Porto e Coimbra recolhidas	33
Tabela 5.2 - Número de pré-formas das garrafas Ludo recolhidas	33
Tabela 5.3 - Número de garrafas de Dion, Água do Porto e Água de Coimbra recolhidas.....	33
Tabela 5.4- Número de garrafas Luso recolhidas.....	33
Tabela 5.5- Comparação de parâmetros em Pearl	34
Tabela 5.6 - Comparação de parâmetros em Clear.....	34
Tabela 5.7- Comparação de parâmetros em Dion	35
Tabela 5.8 - Comparação de parâmetros em Água do Porto	35
Tabela 5.9- Comparação de parâmetros em Luso	36
Tabela 5.10 - Comparação de parâmetros em Água de Coimbra	36
Tabela 5.11 - Configuração do forno para White.....	38
Tabela 5.12- Configuração do forno para Pearl	38
Tabela 5.13- Configuração do forno para Clear	38
Tabela 5.14 - Configuração do forno para Dion 2L	39
Tabela 5.15- Configuração do forno para Água do Porto	39
Tabela 5.16- Configuração do forno para Luso Lab	39
Tabela 5.17 - Configuração do forno para Água de Coimbra	40
Tabela 5.18 - Dados Thermoscan White	41
Tabela 5.19 - Dados Thermoscan Peal	42
Tabela 5.20 - Dados Thermoscan Clear	43
Tabela 5.21 - Dados Thermoscan Luso Lab.....	44
Tabela 5.22 - Dados Thermoscan Luso Fab.....	45
Tabela 5.23 - Dados Thermoscan Dion.....	45
Tabela 5.24 - Dados Thermoscan Água do Porto.....	46
Tabela 5.25 - Dados Thermoscan Água de Coimbra	47
Tabela 5.26 - Espessuras da garrafa White	48
Tabela 5.27 - Espessuras da garrafa Pearl.....	48
Tabela 5.28 - Espessuras da garrafa Clear.....	48
Tabela 5.29 - Espessuras da garrafa Luso Lab	48
Tabela 5.30 - Espessura da garrafa Luso Lab.....	48
Tabela 5.31 - Espessuras da garrafa Dion 2L Face 1	48
Tabela 5.32 - Espessuras da garrafa Dion 2L Face 2	48
Tabela 5.33 - Espessuras da garrafa Água do Porto.....	48
Tabela 5.34 - Espessuras da garrafa Água de Coimbra.....	49
Tabela 5.35 -Valores K de White.....	49
Tabela 5.36 - Valores K de Pearl	49
Tabela 5.37 - Valores K de Clear	49

Tabela 5.38 - Valores K de Luso Lab	49
Tabela 5.39 - Valores de K de Luso Fab.....	50
Tabela 5.40 - Valores de K de Dion Face 1	50
Tabela 5.41 - Valores de K de Dion Face 2	50
Tabela 5.42 - Valores de K de Água do Porto.....	50
Tabela 5.43 - Valores de K de Água de Coimbra.....	50
Tabela 5.44 - Análise de K para MARS 9 oz.....	54
Tabela 5.45 - Análise de K para MARS 12,6 oz.....	54
Tabela 5.46 - Análise de K para MARS 14 oz.....	54
Tabela 5.47 - Análise de K para MARS 20 oz.....	55
Tabela 5.48 - Análise de K para MARS 20 oz.....	55
Tabela 5.49 - Análise de K para 25 oz	55
Tabela 5.50 - Análise de K para 29_30 Meta.....	55
Tabela 5.51 - Análise de K para MARS 38 oz.....	55
Tabela 5.52 - Análise de K para MARS 44 oz.....	55
Tabela 5.53 - Análise de K para Fusion Fluid HD RED	56
Tabela 5.54 - Análise de K para Fusion Fluid HD Clear	56
Tabela 5.55 - Análise de K para Fusion Fluid M Cream.....	57
Tabela 5.56 - Análise de K para Fusion Fluid M Clear.....	57
Tabela 5.57 - Análise de K para Fusion Fluid M Red.....	57
Tabela 5.58 - Análise de K para Fusion Fluid M Squeeze Red	57
Tabela 5.59 - Análise de K para Icon TK 570g.....	58
Tabela 5.60 - Análise de K para Icon HP 600g.....	58
Tabela 5.61 - Análise de K para Fusion Fluid L RED	59
Tabela 5.62 - Análise de K para Fusion Fluid L Clear.....	59
Tabela 5.63 - Análise de K para Heinz TDTK 33mm neck	60
Tabela 5.64 - Análise de K para Heinz TDTK 38mm neck	60
Tabela 5.65 - Análise de K para Icon TK 1500g.....	60
Tabela 5.66 - Análise de K para Aldi UK 750 ml 34g.....	61
Tabela 5.67 - Análise de K para Aldi UK 750ml 41g	61

Lista de abreviaturas, siglas e símbolos

AA – Acetaldeído

C-RUN – Qualificação de molde piloto

DSC – Calorimetria Diferencial de Varrimento

EG – Etileno Glicol

F/B – Face Frontal (Front to back)

FDA – Food and Drugs Administration

IM – Moldação por injeção

ISBM – Moldação por injeção-sopro

K – Fator de correção do SBM Simulator

NSR – Natural Stretch Ratio

PET – Polietileno Tereftalato

RST – Reflectancia Solar Total

S/S – Face lateral (Side to side)

SBM – Moldação por Sopro (Stretch Blow Molding)

Td – Temperatura de degradação

Tf – Temperatura de fusão

Tg – Temperatura de Transição vítrea

TPA – Acido Tereftálico

UV – Ultravioleta

ΔH_c – Calor de cristalização

ΔH_m – Calor de fusão

ΔH_m° - Calor de fusão para um polímero 100% cristalino

1. Introdução teórica

1.1. Enquadramento

A proposta de tema para esta dissertação partiu da Logoplaste (Cascais), com o objetivo de otimizar o seu processo de produção de garrafas, procurando novas formas para reduzir consumos energéticos e desperdícios, para o que é necessário compreender melhor todo o processo por trás da produção de garrafas de plástico.

A influência dos parâmetros do forno será estudada através de alterações nas temperaturas de produção, estabelecendo-se uma relação entre os valores obtidos em produção industrial e os obtidos em laboratório, onde o ambiente é menos controlado e é normal obter oscilações nos valores de certos parâmetros. Para além destes, serão ainda ensaiadas diferentes formulações, fundamentalmente através da incorporação de pigmento e diferentes geometrias de garrafa.

Anualmente são consumidos cerca de 1.5 milhões de barris de petróleo, suficiente para alimentar 100000 veículos durante um ano, só para a produção de garrafas de água, a que se somam os combustíveis fosseis utilizados para a produção da energia necessária para o processo de fabrico. Tendo em conta que o consumo de água engarrafada aumentou 5 vezes entre 1997 e 2002 os impactos ao nível ambiental são bastante elevados [1] .

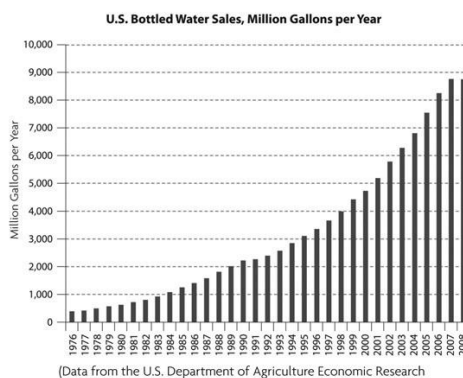


Figura 1.1 - Evolução do consumo de água engarrafada

Fonte: World Economic Forum¹

Dados mais recentes apontam para um crescimento anual médio de 6,2% no consumo de garrafas de plástico entre 2008 e 2013 [2]. Globalmente foram produzidas 389 biliões de garrafas de Polietileno Tereftalato (PET) em 2010 [3] que representam 6,9% do plástico produzido mundialmente [2]. De forma a otimizar o processo de produção é necessário compreender de que forma cada parâmetro afeta o produto final como forma de reduzir desperdícios e reduzir consumos energéticos sem comprometer a qualidade final do produto.

¹ Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2015/09/should-we-drink-bottled-water/> Acesso em Dez. 2017

1.2. Materiais poliméricos

Os polímeros podem ser divididos em 3 categorias quanto à sua estrutura física: elastômeros, termoendurecíveis e termoplásticos.

Os elastômeros são capazes de exibir grandes alongamentos reversíveis quando são aplicadas pequenas tensões demonstrando um comportamento elástico. A presença de alguns pontos de reticulação é o que permite a estrutura sofrer deformações e voltar ao seu estado original. Os pontos de reticulação são ligações covalentes entre as cadeias poliméricas originados por um processo de *crosslinking* ou ligação cruzada, que é promovido pela presença de agentes reticulantes. Quando expostos a um aumento de temperatura estes não fundem sofrendo antes uma degradação da cadeia polimérica o que impossibilita o reprocessamento do polímero [4].

Os termoendurecíveis apresentam geralmente uma boa estabilidade dimensional devido ao elevado número de pontos de reticulação que favorecem a coesão entre cadeias tornando o polímero mais rígido [4] e com uma menor capacidade de deformação. Tal como no caso anterior, e por maioria de razão, estes polímeros não podem ser refundidos.

Os termoplásticos não apresentam pontos de reticulação entre as suas cadeias entrelaçadas, a coesão estrutural é gerada por forças de Van der Waal e fracas atrações entre as moléculas, para além dos próprios entrelaçamentos. A ausência de pontos de reticulação permite a este tipo de polímeros apresentar diferentes graus de flexibilidade, que dependem da sua estrutura química, o mesmo acontecendo relativamente à resistência ao impacto [4]. Estes são 100% recicláveis podendo ser fundidos varias vezes sem perder as suas propriedades [5]. Os termoplásticos são os polímeros mais utilizados na produção de garrafas devido às suas propriedades, capacidade de reutilização e condições de processamento.

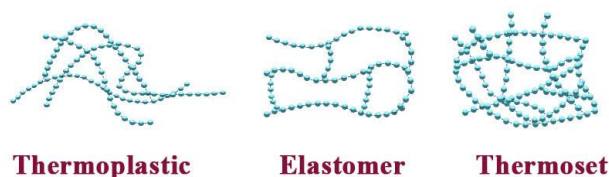


Figura 1.2 - Estruturas poliméricas

Fonte: TutorVista²

1.3. Polietileno tereftalato (PET)

O PET, foi inicialmente concebido para a produção de fibras têxteis de grande resistência à humidade, depois começou a ser usado em filmes bio orientados e, mais recentemente, é principalmente utilizado na produção de garrafas para área alimentar devido às suas propriedades, tanto químicas como físicas, que o tornam ideal para estar em contacto com alimentos, além de ser facilmente processado.

² Disponível em: <http://chemistry.tutorvista.com/analytical-chemistry/thermoplastic-polymers.html> Acesso em Jan. 2018

O PET é um copolímero, semi-cristalino, obtido pela reação de policondensação entre dois monómeros, Ácido Tereftálico (TPA), em estado líquido, e Etilenoglicol (EG), com a consequente libertação de H₂O.

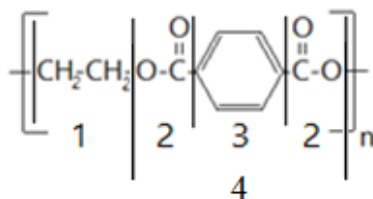


Figura 1.3 - Unidade repetitiva de PET onde: **1 - Etileno** - fornece flexibilidade a estrutura; **2 - Ester** - responsável pela natureza polar; **3 - Anel benzénico** - torna a estrutura mais resistente; **4 - Grupo Tereftalato** – Conjugação do ester com o anel benzénico.

A temperaturas suficientemente baixas, todos os polímeros são sólidos rígidos [6], no entanto à medida que a temperatura aumenta é obtida energia térmica suficiente para permitir que as cadeias se movam livremente e se comportem como um líquido viscoso, caso não tenha ocorrido degradação das cadeias [4]. A Temperatura de Transição Vítrea (Tg) é o ponto acima do qual, o polímero amolece e se torna tipo borracha, esta é uma temperatura importante pois é a partir dela que se começam a verificar diferentes propriedades e o polímero se torna mais facilmente deformável e mais dúctil [4]. Se o polímero apresentar poucas ramificações ou pontos de reticulação o volume livre do polímero aumenta, o que facilita a mobilidade das moléculas e reduz a Tg, no entanto os polímeros com muitos pontos de reticulação e ramificações têm menos volume livre originando maiores Tg. [6]. A cristalinidade é também influente no comportamento do polímero, o PET é composto por fases amorfas e cristalinas, responsáveis pelo comportamento elástico e por um aumento de resistência respetivamente. Estes apresentam Tg, onde as regiões amorfas ganham alguma mobilidade e uma temperatura de fusão (Tf), que é a temperatura a que os cristaltos fundem, nas regiões cristalinas [6], que marcam a transição para o estado líquido [4]. Um polímero de elevada taxa de cristalinidade apresenta tipicamente moléculas que são estáveis química e estruturalmente [6] e apenas apresentam Tf, visto que a baixa percentagem de parte amorfa não é suficiente para implicar uma Tg. O PET é um termoplástico, semi-cristalino que apresenta uma Tg e uma Tf, que rondam os 80 °C e 250°C [7] respetivamente.

1.4. Fabrico de garrafas em PET

O método de processamento mais comum para garrafas de PET é a Moldação Sopros (SBM) ou Injeção-Sopro, *Injection Stretch Blow Molding* (ISBM). Este processo é constituído por duas etapas, na primeira é fabricada uma pré-forma, estruturalmente amorfa, através de moldação por Injeção (IM), que vai ser posteriormente soprada, na segunda etapa, para dar origem à futura garrafa de PET. A ISBM pode ser realizada por dois processos distintos, conhecidos por *um passo* ou *dois passos*; no primeiro caso todo o processo é conduzido numa só máquina, mais compacta, mas mais cara. No método em dois passos o fabrico da pré-forma é feito numa máquina de injeção e o sopro final para o fabrico da garrafa é realizado por moldação Sopros (SBM) numa máquina separada. Embora as dimensões das duas máquinas, no seu conjunto, sejam superiores às de um passo o seu preço é menor. Uma das grandes vantagens do processo dois passos é o facto de as duas máquinas não necessitarem de se encontrar fisicamente no mesmo espaço, podendo as preformas serem produzidas numa única instalação que serve várias máquinas de sopro, instaladas em diversos locais. Este processo é o mais utilizado em produções de grande escala.

1.4.1. Moldação por Injeção

O processo de IM tem início com a dosagem da matéria prima através da tremonha (alimentador) sob forma de grãos que caem para um cilindro aquecido com um parafuso que vai transportar o material e ajudar na sua fusão. O material fundido acumula-se na extremidade do parafuso e é depois injetado para o molde a uma temperatura que depende da matéria prima utilizada, devendo estar no intervalo entre a T_f e a Temperatura de Degradação (T_d), que é a temperatura a partir da qual o polímero se começa a degradar (a presença de aditivos pode fazer variar esses valores). No molde é importante uma rápida distribuição do material de forma a garantir o correto enchimento da cavidade, o fecho do molde é também essencial para evitar que o material escape pelas falhas entre as junções das peças. O arrefecimento homogêneo da peça no molde vai depender da geometria da peça e do correto dimensionamento dos canais de arrefecimento. Após a abertura do molde a pré-forma continua o arrefecimento no robô durante 4 ciclos até ser ejetada. Neste caso particular a IM é utilizada para produzir pré-formas que vão ser posteriormente sopradas para produzir garrafas.

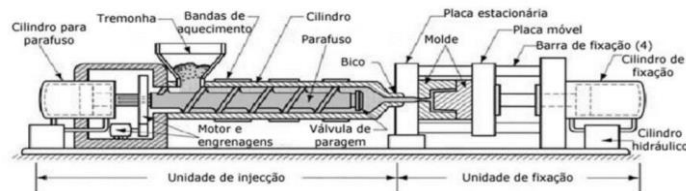


Figura 1.4 - Máquina de Injeção

Fonte: mg-chemicals³

A qualidade de um produto injetado depende de alguns parâmetros de produção importantes, nomeadamente a temperatura de injeção, a temperatura do molde, o tempo de enchimento, o tempo de injeção, o tempo de compactação e a pressão de compactação [8]. A otimização destes pode reduzir o tempo de ciclo e melhorar a qualidade do produto, no entanto, a maior parte destes é regulada por tentativa e erro e é necessário a realização de um estudo de forma a entender qual a influência de cada parâmetro em cada fase da injeção no produto final. As fases principais onde os parâmetros podem influenciar o produto são então a Alimentação, Plastificação, Injeção e Ejeção [9].

Alimentação: durante esta fase é feita a dosagem da matéria prima e dos aditivos, líquidos ou sólidos; a introdução destes nesta fase garante uma boa homogeneização de aditivos no final da produção. A alimentação faz a transição entre o silo (de armazenagem do polímero) ou a embalagem onde o polímero se encontra (caso em que não é utilizado silo) e o cilindro para a fusão.

Plastificação: o cilindro possui um parafuso que serve para fundir os grânulos e transportá-los ao longo do cilindro até ao bico de injeção. Em contacto com o cilindro existem bandas de aquecimento que ajudam a fundir os grânulos, sendo que cerca de 80% da temperatura necessária para a fusão é gerada pela fricção produzida entre os grânulos e a parede do cilindro durante o transporte do material ao longo do fuso.

Injeção: O cilindro encontra-se acoplado ao molde, para o qual o fundido vai ser injetado e onde vai arrefecer e tomar a forma pretendida. É necessário garantir que o molde é bem fechado de forma a suportar as pressões envolvidas durante o processo de injeção e prevenir fugas ou uma má distribuição do material dentro do molde. Um parâmetro importante a ter em consideração é a velocidade de injeção, é necessário manter um fluxo de material a entrar no molde constante de forma a garantir uma boa distribuição no interior e uma solidificação homogênea no interior do

³ Disponível em: <http://www.mg-chemicals.com.br/pt/manuais-tecnicos/203> Acesso em Set. 2017.

molde. De forma a regular o arrefecimento do material no interior do molde corre água fria, permitindo controlar algumas propriedades da forma pretendida.

Ejeção: após a solidificação do material no interior do molde este é aberto e o produto é retirado por pistões ou um jato de ar pressurizado.

Com o objetivo de otimizar o processamento foram realizados alguns estudos. D’Costa [1] verificou que o tipo de resina e a cor afetam de forma bastante significativa a variabilidade do processo de ISBM.

1.4.2. Moldação-Sopro

O processo começa com a colocação de pré-formas, previamente produzidas por IM, numa tremonha onde vão ser transportadas até a rampa de alinhamento, que as organiza individualmente, até chegarem à roda de alimentação. De seguida a roda alinha e orienta os gargalos das pré-formas com uma plataforma rotativa, com um número variável de dedos onde as pré-formas se encaixam e são transportadas até ao forno. Estes dedos exercem um movimento rotativo enquanto transportam as preformas, o que ajuda a distribuir melhor o calor. No forno o calor vai ser transferido de três formas, condução, convecção e radiação [10]. O reaquecimento da pré-forma no forno é normalmente feito através de radiação por infravermelhos onde fileiras de lâmpadas de Halogénio proporcionam um aquecimento rápido do polímero

No forno um sistema de ventilação faz a transferência de calor por convecção, o que é um fator bastante relevante na obtenção do perfil térmico ideal. Seneci et al. [11] demonstraram a importância de ter um sistema de ventilação robusto no interior do forno que favoreça a homogeneização do calor no forno para que este penetre para o interior da secção de PET durante as fases de aquecimento. A temperatura do forno vai aquecer também os dedos, que vão ser responsáveis pela transferência de calor por condução, visto que o contacto entre as duas partes vai promover a transferência. O forno é também geralmente acompanhado por um sistema de arrefecimento de forma a controlar a temperatura da superfície externa da pré-forma, para evitar cristalização térmica que a iria tornar opaca e mais frágil [12].

Já aquecida a pré-forma é retirada dos dedos com ajuda de pinças que a levam até um molde aberto, que fecha assim que a pré-forma é colocada no seu interior. No molde existe um sistema de arrefecimento a água para ajudar o material a arrefecer assim que entrar em contacto com as paredes do recipiente. Após o fecho do molde um pino de estiramento, previamente ajustado, é introduzido no interior da pré-forma e desce até quase ao fundo desta [13]. Com o molde corretamente fechado ocorre então um pré sopro que vai esticar a pré-forma radialmente, formando uma bolha nas zonas mais frágeis da pré-forma [10] e vai impedir que o pino toque nas paredes da pré-forma. Thibault et al. [14] sugeriram que a velocidade do *stretching rod*, ou pino de estiramento, pode ser identificada como um parâmetro a manipular de forma a obter um melhor design para a garrafa. Quando o estiramento estiver concluído a pressão é aumentada para que o produto adira às paredes do molde e adquira os detalhes finais. As propriedades reológicas do material durante o processo de inchamento são não lineares e dependem da temperatura [15]. Depois de arrefecer, o molde é aberto e o produto é ejetado para fora do molde.

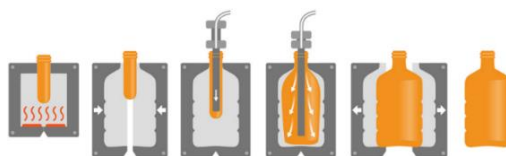


Figura 1.5 - Processo de Sopro

Fonte: Robinson Packaging Innovation⁴

1.4.2.1. Extensão e Deformações

O controlo da temperatura na pré-forma é essencial pois diferentes regiões das garrafas finais têm de ter resistências e comportamentos diferentes. As faces da garrafa vão sofrer um maior aquecimento e orientação após a extensão, que as vai tornar mais resistentes após um arrefecimento rápido. As propriedades mecânicas do polímero são afetadas pelas condições iniciais da cristalização, taxa de arrefecimento, pressão ou presença de agente nucleantes [16].

O *Natural Stretch Ratio* (NSR) é o ponto a partir do qual é preciso aumentar a tensão para continuar a realizar estiramento adicional. Um bom controlo da distribuição da temperatura no perfil da pré-forma vai assegurar que o material sofre uma boa distribuição e vai apresentar uma espessura homogênea. A transparência do produto final é controlada pela temperatura e velocidade de arrefecimento no molde [13].

A deformação elástica ocorre quando o material submetido a uma tensão suficientemente baixa para que a deformação seja recuperável e isto acontece até ao ponto de cedência, a partir do qual se entra numa região de deformação plástica que não é recuperável, e o material sofre um alongamento sem um aumento da tensão exercida até ao ponto de NSR, após este limite é necessário exercer cada vez mais tensão de forma a continuar o alongamento.

Strain hardening é um fenómeno que ocorre quando é ultrapassado o ponto de cedência do material devido à continuação de aplicação de uma tensão que vai orientar as cadeias no sentido da tensão aplicada, o que vai tornar as zonas estiradas mais opacas devido a reorganização das cadeias tornando-as mais resistentes no sentido da aplicação da tensão mas mais frágeis quando é aplicada uma tensão perpendicular ao alinhamento [10]. Para melhorar a resistência é necessário realizar uma biorientação que orienta as cadeias paralela e perpendicularmente de forma que o polímero suporte mais tensões nas duas direções perpendiculares

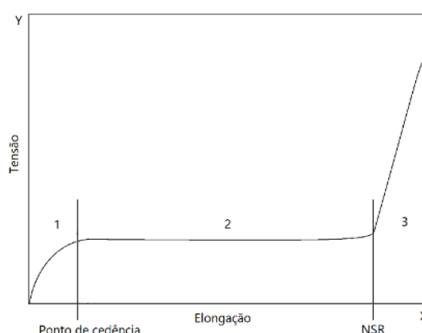


Gráfico 1.1- Relação tensão alongação, a zona 1 representa a zona de deformação elástica, a zona 2 e 3 a deformação plástica, na zona 3 é possível observar o strain hardening onde é cada vez necessária maior tensão para deformar o material.

⁴ Disponível em: <http://robinsonpackaging.com/plastics/injection-stretch-blow-moulding/> Acesso em Set. 2017.

2. Procedimento Experimental

2.1. Materiais

O polímero utilizado na produção de garrafas foi maioritariamente *Indorama RamaPet N180* que possui boas propriedades óticas e mecânicas, representativas de uma resina de PET com uma viscosidade intrínseca (IV) de 0.8. Estes Poliéster termoplásticos são produzidos por condensação por um processo contínuo de polimerização seguida de um processo de polimerização no estado sólido. É geralmente utilizado em recipientes para bebidas carbonatadas, garrafas de água, sumos, cerveja, vinho, embalagens alimentares, produtos de casa e em aplicações farmacêuticas e médicas. Outro polímero utilizado foi *NeoPet 80* que é um co-poliéster PET desenhado para uma grande gama de recipientes de sumos e bebidas, água mineral, bebidas carbonatadas, leite e óleo. Tem excelentes propriedades óticas e boas propriedades mecânicas e de barreira, apresentando também um baixo nível de acetaldeído (AA).

O AA é resultante do processo de degradação térmica do PET durante a fusão, sendo necessário minimizar a sua presença pois pode alterar o sabor do produto no interior do recipiente [17][18]. Foram também utilizados alguns aditivos e pigmentos em conjunto com as resinas, que vão afetar o comportamento do produto final. Estes pigmentos e aditivos estão aprovados pela legislação da União Europeia e *U.S. Food and Drug Administration* (FDA) para estarem em contacto com alimentos.

Foram utilizados os pigmentos, *Clariant Renol White (White)*, *Colormatrix White Silver -3 (Pearl)*, bem como o aditivo *Colormatrix Ultimate UV 390-1*, que é um filtro contra raios UV (*Clear*), e alguns corantes como, *Repi Orange Remap 30188 (Dion)* e *Blue TR Remap 97074*.

Tabela 2.1- Propriedades dos materiais utilizados

Propriedades	Material		Unidades
	RAMAPET N180	NeoPET 80	
Viscosidade Intrínseca (IV)	0.80 ±0.02	0.80 ±0.02	dl/g
Temperatura de Fusão (Tf)	245 ±5	248 ±4	C°
Conteúdo de Acetaldeído (AA)	≤1	≤1	ppm
Poeiras	0.05	0.05	Wt%
Peso das Pellets	60 ±5	58 ±5	Pecas/grama
Forma das Pellets	Cubicos	Granulados esfericos	-

Tabela 2.2- Viscosidade dos pigmentos usados

Aditivos	Propriedades	Tolerancia (Cps)	
	Viscosidade a 20 °C (Cps)	Limite superior	Limite inferior
Clariant Renol White	-	-	-
Colormatrix Ultimate UV 390 -1	5000	9000	1000
Colormatrix White Silver -3	9000	14000	4000
Repi Orange Remap 30188	8000	-	-
BLUE TR REMAP 97074	2000	-	-

2.2. Métodos

O início dos testes para medir a influência de alteração da temperatura de produção, da geometria ou da presença de pigmentos nas garrafas, começa pela pré-seleção aleatória das pré-formas a estudar, sendo que estas foram produzidas em fábricas separadas e não foi possível controlar o seu processamento. Os testes foram realizados durante ciclos de produção de garrafas, desta forma houve a necessidade marcar as pré-formas a serem estudadas numa região específica, igual para todas, para a sua diferenciação com as restantes.

Um dos ensaios que foi realizado foi *C-RUN* (*qualificação de molde piloto*) que é um conjunto de ensaios pré-definidos em função da aplicação da embalagem e que servem para comparar a performance do design de uma garrafa com a especificação pré-definida. É utilizado para monitorizar a influência de qualquer parâmetro que seja alterado, desde o molde à formulação (pigmentos, resinas ou aditivos). O ensaio consiste na recolha e análise de X número de pré-formas, ou garrafas, de 15 em 15 minutos durante uma hora de produção

As máquinas de sopro utilizadas para os ensaios foram, *SIDEL SBO 1 Lab*, com estiramento elétrico, aquecimento preferencial, (onde certas faces vão ser mais aquecidas que outras) e convencional (todas as faces são igualmente aquecidas) e uma *SIDEL SBO 1 50* com estiramento mecânico e aquecimento convencional. Algumas das garrafas que foram estudadas eram ovais, caso em que foram produzidas com aquecimento preferencial, outras cilíndricas, caso em que foram produzidas por aquecimento convencional onde ocorre uma distribuição homogênea da temperatura sobre toda superfície da pré-forma.

As pré-formas foram colocadas nos dedos com a marca alinhada a 0° com a entrada do forno, para garantir que todas entravam no forno com a mesma posição. As duas primeiras lâmpadas do forno possuem uma potência de 2500 W, as restantes oito 2000 W. A primeira lâmpada normalmente está com a percentagem de funcionamento mais elevada, isto porque a zona da pré-forma exposta a esta radiação é normalmente a zona onde vai ocorrer maior estiramento de material, logo tem de ser mais aquecida [10]. As lâmpadas adicionais são ajustadas de acordo com as especificações da garrafa desejada. À saída do forno, a pré-forma marcada é colocada num *Thermoscan v2.1*, onde um sensor térmico mede a temperatura da face externa e interna da pré-forma, alinhada a 0° com o sensor, ao longo de todo o seu perfil com um espaçamento de 1 mm por cada ponto.

Ao longo de 1 hora este processo é repetido 6 vezes e as pré-formas são alinhadas a 0° com o sensor. Estas análises e recolhas são repetidas 5 vezes para contemplar 1 hora de produção para as pré-formas realizadas por aquecimento preferencial. Para aquecimento convencional o processo é idêntico, sem necessidade de alinhamento.

Tabela 2.3- Número de pré-formas White, Pearl e Clear recolhidas durante C-RUN e outros ensaios.

Tipo de garrafa	Número de pré-formas		
	Positive Release	AL+ +5%	AL+ -5%
White	15	3	3
Pearl	15	3	3
Clear	15	3	3

Tabela 2.4- Número de garrafas MARS 300ml White, Pearl e Clear recolhidas durante C-Run e outros ensaios

Tipo de garrafa	Número de garrafas		
	Positive Release	AL+ +5%	AL+ -5%
White	25	5	5
Pearl	25	5	5
Clear	25	5	5

Tal como as pré-formas, também foram recolhidas 5 garrafas durante cada intervalo de tempo do *C-RUN*, mais tabelas com informação sobre outras pré-formas e garrafas estudadas encontram-se em anexo.

Concluído o ensaio *C-RUN* alterou-se um dos parâmetros de produção, a potência geral do forno foi reduzida e aumentada em 5% relativamente à potência padrão. Os ensaios *C-RUN* seguintes são idênticos ao anterior, no entanto só é feito um ciclo de 15 minutos para a redução de 5% e outros 15 minutos para o aumento de 5%.

Todo o processo, *C-RUN* e alteração de parâmetros, foi realizado para 3 tipos de garrafas *MARS 350 mL* onde a única diferença entre elas são os aditivos e a taxa de adição do mesmo (o

peso, a pré-forma e a geometria da garrafa final são idênticos entre elas), sendo que as condições de processamento são também idênticas à exceção da potência geral do forno e a configuração das lâmpadas do forno que são diferentes devido a presença dos diferentes pigmentos.

Tabela 2.5- Comparação de parâmetros em White.

	White -5%	White Standard	White +5%
Configurações gerais			
Pré-forma	LGP GB 02-033	LGP GB 02-033	LGP GB 02-033
Peso (g)	25,5	25,5	25,5
Aditivos	Renot White NT00050166- MN/S	Renot White NT00050166- MN/S	Renot White NT00050166- MN/S
Taxa de adição	3%	3%	3%
Power Startup - AL2	62%	67%	72%
Temperatura do forno (C°)	64,4	63	73,4
Temperatura da pré-forma (C°)	88,4	91,4	96,8
Configurações do forno			
Ventilação	70%	70%	70%
Configuração do aquecimento	Preferential	Preferential	Preferential
Espaçamento do forno	38 mm	38 mm	38 mm
Posição de aquecimento preferencial	24 mm	24 mm	24 mm
Cadência - G/h	800	800	800
Arrefecimento			
Temperatura da água (C°)	17	17	17
Configurações da vara de estiramento			
Diametro da vara de estiramento	14 mm	14 mm	14 mm
Configurações do Sopro			
Pressão de Pré-Sopro	8 bars	8 bars	8 bars
Pressão de Sopro	39 bars	39 bars	39 bars

As garrafas *Dion 2L e Águas do Porto*, foram produzidas por aquecimento convencional na *SIDEL SBO 1 50* e as garrafas de *Águas de Coimbra* foram produzidas numa *SIDEL SBO 1 Lab I*. Estas garrafas cilíndricas foram estudadas para perceber a influência dos pesos das pré-formas, rácios de estiramento e da geometria da garrafa final. Os ensaios realizados seguem o mesmo formato dos anteriores. As tabelas com as condições de processamento das outras garrafas estudadas encontram-se presentes em anexo.

As garrafas *Luso* foram estudadas para comparar as diferenças de processo para obtenção de uma “mesma” distribuição de espessuras no produto final entre um ambiente em laboratório e um industrial. As garrafas produzidas em laboratório foram processadas na *SIDEL SBO 1 50 Universal* seguindo ensaios iguais aos anteriormente referidos. As produzidas em ambiente industrial foram produzidas numa *SIDEL UNIVERSAL SBO 10* na fábrica da Vacariça e foi realizada uma recolha de 6 pré-formas, cujo perfil térmico foi analisado no *Thermoscan* e foram recolhidas 6 garrafas durante a produção, sem alteração de parâmetros.

Para medir a espessura foi utilizado um *Magna-Mike model 8000* da Sofranel. É inicialmente inserida uma pequena esfera metálica no interior da garrafa, seguidamente a superfície é posta em contacto com a sonda magnética do Magna-Mike. Por efeito de magnetismo a esfera é atraída para a sonda onde um sensor mede a distância entre a esfera e a ponta obtendo-se assim a medida exata da espessura naquele local [19]. Outros métodos de medição envolvem a utilização de *Vernier Calliper* [20], ou uma craveira, no entanto os valores não são tão precisos e é necessário cortar a garrafa para aceder a certos pontos. Cada garrafa foi medida em 9 pontos, ao longo do perfil de cada face estudada, sendo que um dos pontos era na base e outros em pontos críticos. A medição dos pontos foi conseguida utilizando um graminho *Digimatic Heightgage Absolute* da Mitutoyo. O software *TopSoft 4* foi utilizado em conjunto com o *Magna-Mike* para recolher e converter os valores de espessura medidos para depois serem analisados. Em conjunto com o software *SBM Simulator*, desenvolvido pelo Logoplaste Innovation Lab, é possível prever os valores teóricos de cada ponto de espessura medido, permitindo assim uma comparação entre valores teóricos e os valores reais

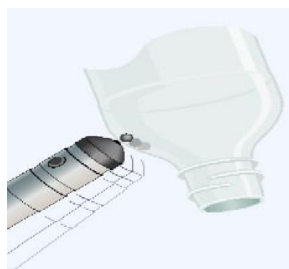


Figura 2.1 - Método de medição com Magna Mike

Fonte: Mistras Group Hellas ABEE⁵

O *SBM Simulator* utiliza um modelo 3D da pré-forma e da garrafa pretendida para simular a distribuição de espessuras ao longo da embalagem e calcular os rácios de estiramento em cada ponto. O cálculo é efetuado com recurso a um fator de correção (K), sendo este a relação entre o estiramento previsto e a espessura correspondente, num mesmo ponto. De forma a validar os resultados do software foram comparados os valores de K e de espessuras simulados com os valores de espessura real. Assim, foi possível calcular o K real para a espessura medida, com recurso ao programa.

Para realizar o ensaio de calorimetria diferencial de varrimento (*Differential Scanning Calorimetry*) (DSC) foram produzidas na *SIDEL SBO 50 Universal 2* tipos de garrafas de *Águas do Porto*. Uma sem pigmento com um peso de 28g e outra com o pigmento *BLUE TR REMAP 97074* com 27,5g sob as mesmas condições de processamento, sendo que, para cada tipologia foram recolhidas 3 amostras. Seleccionaram-se duas secções da garrafa, onde o estiramento é maior, uma na zona superior a 120 mm de altura e outra na inferior a 30 mm, a serem analisadas por DSC. O corte das secções foi realizado por uma máquina de corte térmico da *Sidel* de 220 V. Com recurso ao software *SBM Simulator* foi possível obter os rácios de estiramento destes pontos.

Tabela 2.6 - Rácios de estiramento da garrafa

Amostra	Secção	Rácios	Valores
Pré-forma Águas do Porto	Inferior	Specific S.Ratio	6,8069
		RSR	3,5920
		ASR	1,8900
	Superior	Specific S.Ratio	4,7815
		RSR	2,5254
		ASR	1,8900

A análise de DSC, realizada nos laboratórios do CENIMAT da FCT/UNL, consistiu primeiramente, na preparação da amostragem, recolhendo-se aproximadamente 10,5 mg de cada amostra, pesadas numa balança *GR-200* da *A&D*. As amostras foram, posteriormente, introduzidas em cadinhos de alumínio, de aproximadamente 34,5 mg. Estes foram colocados numa máquina de DSC da *Netzsch* modelo *DSC 204 F1* devidamente selados, juntamente com cadinhos de referência. O ensaio iniciou-se à temperatura ambiente, ambos os cadinhos são submetidos a uma taxa de aquecimento de 10°C/min até se atingir cerca de 280 C°, mantendo-se a esta temperatura durante 3 minutos. Posteriormente, ocorre o arrefecimento a uma taxa de 20°C/min até a temperatura ambiente, onde permanece durante 5 minutos, finalizando-se a análise. No total efetuaram-se 12 testes.

⁵ Disponível em: http://www.mistrasgroup.gr/products/ultrasonic/ut_thick_magnamike_eng.htm Acesso em Dez. 2017

3. Resultados e Discussão

3.1. Estudo do efeito do pigmento



Figura 3.1 - Garrafa MARS White



Figura 3.2 - Garrafa MARS Pearl



Figura 3.3 - Garrafa MARS Clear

A análise ao perfil térmico de três pré-formas com pigmentos diferentes demonstra a existência de desvios nos perfis de temperatura.

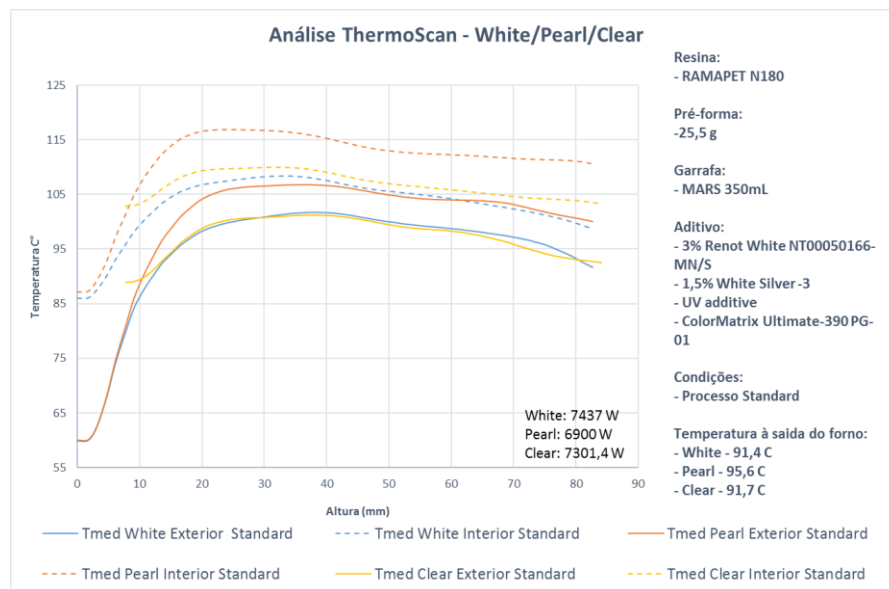


Gráfico 3.1 - Estudo com ThermoScan do efeito dos pigmentos

A máquina utilizada para o sopro das pré-formas possui 2 fornos para uniformizar a temperatura das pré-formas com pigmento, que aumentam os consumos de potência.

É possível verificar que a temperatura no interior segue um comportamento semelhante, embora com um valor superior, à temperatura exterior da pré-forma. Entre a pré-forma *White* e *Pearl* é possível verificar que a potência utilizada pelo forno para aquecer as pré-formas é diferente. As pré-formas de *Pearl* necessitam de 6900 W para atingir temperaturas que rondam

os 97 °C e os 106 °C, enquanto as pré-formas *White* necessitam de 7437 W para atingirem valores de temperatura compreendidos entre 93 °C e os 103 °C.

O calculo da potência necessária para o aquecimento das pré-formas é feito tendo em conta relação da potência geral do forno e a potência individual de cada lâmpada e a sua respetiva intensidade, cujos valores podem ser consultados nas Tabelas 5.11 - 5.17 presentes em anexo.

As pré-formas com pigmentos são mais difíceis de processar, uma vez que este dificulta a transferência de calor para o interior da pré-forma. A maior parte dos pigmentos possuem Dioxido de Titânio, TiO_2 , que apresenta o maior valor de Refletância Solar Total⁶ (RST) [21], pelo que as pré-formas com pigmentos necessitam geralmente de mais tempo no forno para garantir que a pré-forma é aquecida no seu interior. Geralmente, as pré-formas são aquecidas até temperaturas elevadas abaixo do anel de transporte e na base, sendo estas as secções com maior tendência para acumular material. É possível verificar nas Tabelas 5.11 - 5.13, presente em anexo 5.4, que estas áreas correspondem precisamente à zona do forno onde se encontram as lâmpadas com maior potência, de 2500 W. Também podemos observar que as pré-formas com pigmento têm 9 lâmpadas a funcionar enquanto as *Clear* (sem pigmento) utilizam apenas 8, sendo a nona lâmpada corresponde à zona da base da pré-forma.

Como é observável no Gráfico 3.1 o perfil de temperatura *Pearl* apresenta valores superiores quando comparado com os restantes. O pigmento da garrafa *Pearl* poderá conter partículas metálicas, que apresentam uma condutividade térmica elevada e um RST baixo [21]. Assim, a presença destas partículas poderá influenciar os valores da temperatura, que atinge valores superiores com potência inferior.

No Gráfico 3.1 é também observado que as garrafas *White* e *Clear* apresentam perfis de temperatura semelhantes, tal como acontece com as potências utilizadas no processo de produção. Algo que, à partida, não seria verificado, dado que geralmente os pigmentos opacos requerem menores cadências das máquinas e uma potência mais elevada, que pode produzir temperaturas mais elevadas no seu processamento. A intersecção entre janela de processamento do *White* e do *Clear* pode ser a causa da semelhança dos resultados, tendo o *Clear* sido processado próximo do limite superior da janela, e o *White* próximo do limite inferior, onde ambos se intersectam.

Os diferentes perfis térmicos refletem-se numa distribuição heterógena do material. De forma a acompanhar o desenvolvimento da espessura ao longo da garrafa, foi obtido o diâmetro da mesma com recurso ao *software SolidWorks*, nos pontos onde foi medida a espessura.

⁶ A Refletância Solar Total é a percentagem de radiação solar refletida por um pigmento [21].

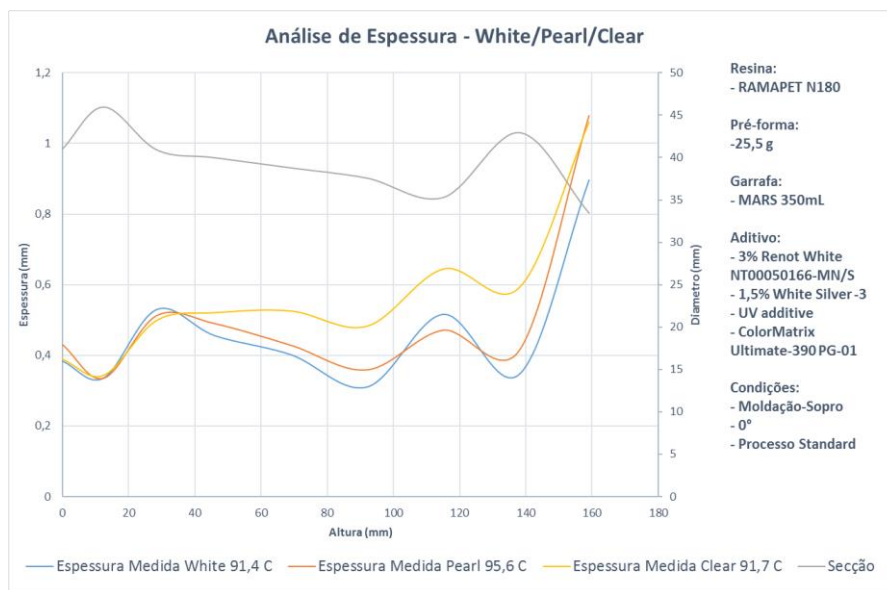


Gráfico 3.2 - Estudo do efeito dos pigmentos na espessura

Foram medidos 8 pontos para cada face da garrafa, tendo estes pontos sido escolhidos de forma a percorrer o perfil do produto ou pela presença de algum fator de estudo interessante. Assim, podem existir regiões com maiores ou menores valores de espessura que não foram medidas.

Através da análise do Gráfico 3.2, observa-se uma redução da espessura nas zonas onde a secção apresenta diâmetros superiores. A maior distância a que a pré-forma se encontra do molde, nestas secções, causa um estiramento superior levando a uma redução na espessura.

As garrafas White e Pearl apresentam uma espessura no corpo mais reduzida que a obtida na garrafa Clear. A presença de pigmentos nas pré-formas dificulta o estiramento nas zonas de transição (abaixo do anel de transporte) e da base da preforma, consequentemente estas garrafas apresentam uma maior acumulação de material nessas regiões e redução de espessura no resto do corpo. Não foi possível observar claramente a acumulação de material nos anéis de acumulação no Gráfico 3.2 pois não ocorreu nenhuma medição de espessura nessa zona.

A garrafa Clear apresenta um maior valor de espessura ao longo da sua superfície. A falta de pigmento promove um melhor estiramento do material desde o gargalo até à base da pré-forma, permitindo que este seja distribuído de forma mais uniforme durante o processamento da garrafa. Apesar de existirem diferenças nas espessuras nas secções dos 3 tipos de garrafas, o peso de cada uma é semelhante. A presença de pigmento causa um aumento de densidade nas garrafas White e Pearl.

3.2. Variação de potência no forno

A potência do forno afeta o perfil de temperatura das pré-formas. De forma a estudar a sua influência na distribuição de espessuras do produto final foram processadas garrafas com diferentes composições, geometrias e pesos.

3.2.1. White



Figura 3.4 - Face White 90 graus



Figura 3.5 - Face White 0 graus

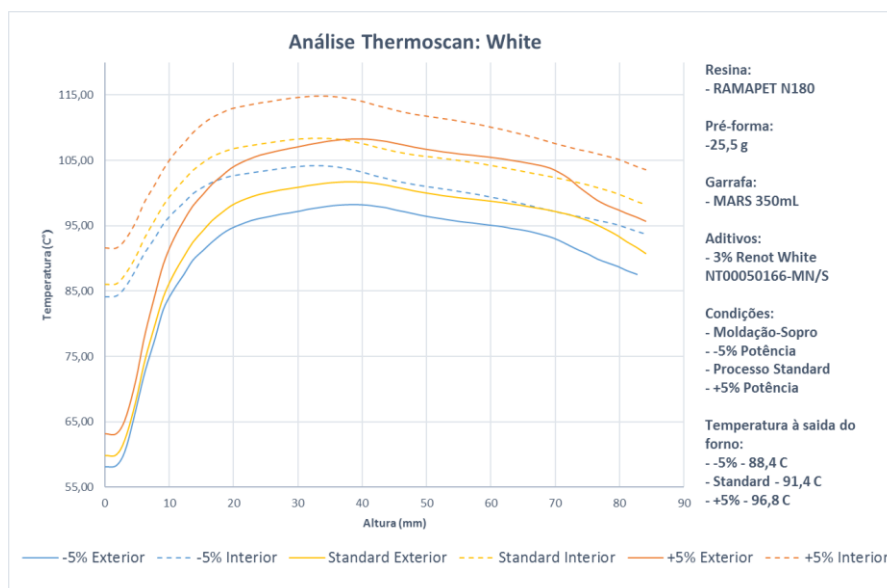


Gráfico 3.3 – Análise de Thermoscan das variações de potência nas garrafas White

Após a análise do Gráfico 3.3 verifica-se um comportamento similar no perfil de temperatura das três pré-formas. Como expectável, o aumento da potência, 5% acima do valor padrão, causa um aumento de temperatura, tanto no interior como no exterior da pré-forma.

A pré-forma *White* requer uma potência de processamento superiores às restantes, como é possível verificar no Gráfico 3.1. A presença de um pigmento opaco dificulta a transmissão, no entanto devido à elevada potência aplicada no processamento, seria de esperar que o perfil exterior de temperatura atingisse valores mais elevados.

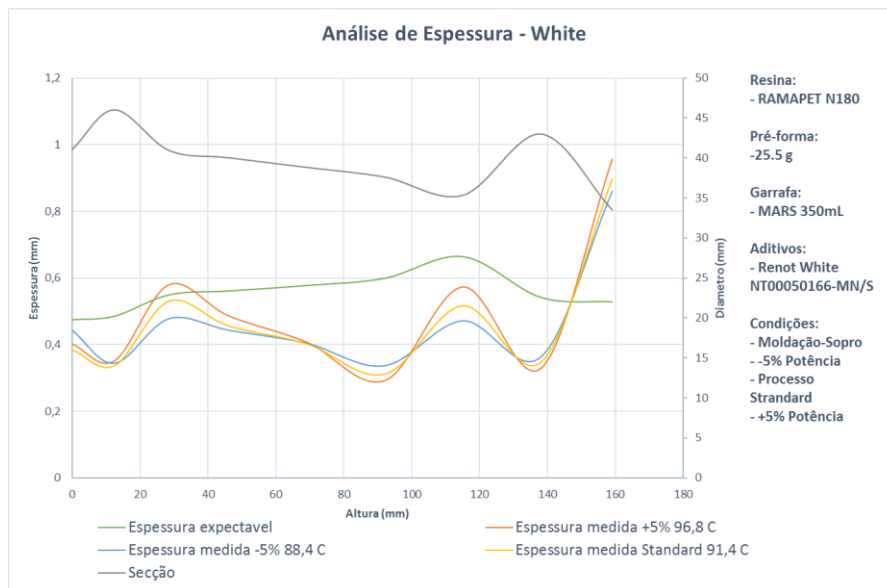


Gráfico 3.4 - Análise do efeito das alterações na potência na espessura das garrafas White

De acordo com o Gráfico 3.4, a variação de potência afeta a distribuição de material nas zonas de maior e menor secção da garrafa, onde se verifica maior variação na geometria. Potências mais elevadas dão origem a perfis de temperatura com valores superiores, como anteriormente referido. Temperaturas superiores dão uma maior mobilidade às cadeias poliméricas, pelo que quando as pré-formas entram em contacto com a parede do molde acumulam material nas regiões de menor secção. Por outro lado, com uma redução da potência e consequente baixa de temperatura, a mobilidade das cadeias diminui, ocorrendo uma distribuição homogénea ao longo do corpo devido a uma maior acumulação de material no fundo e no gargalo graças a um estiramento mais diminuto. No entanto, nem sempre se pretende uma distribuição homogénea, diferentes geometrias podem exigir secções com espessuras superiores, de forma a conferir uma maior estabilidade e resistência.

3.2.2. Pearl



Figura 3.6 - Face Pearl 90 graus



Figura 3.7 - Face Pearl 0 graus

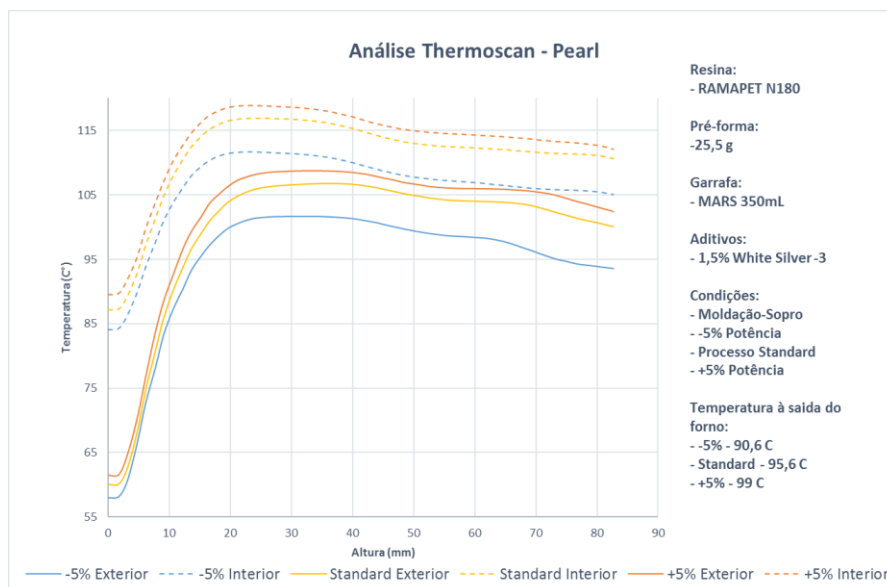


Gráfico 3.5 - Análise de Thermoscan das variações de potência nas garrafas Pearl

Os resultados dos perfis de temperatura das pré-formas *Pearl* apresentam um comportamento dentro do esperado. O incremento de 5% de potência do forno não fez variar significativamente os valores de temperatura. Para as pré-formas *Pearl*, aquecerem acima de valores próximos de 105 C° torna-se mais difícil, como é observado no Gráfico 3.5, sendo que para atingir temperaturas mais elevadas é necessário um aumento superior a 5% da potência do forno.

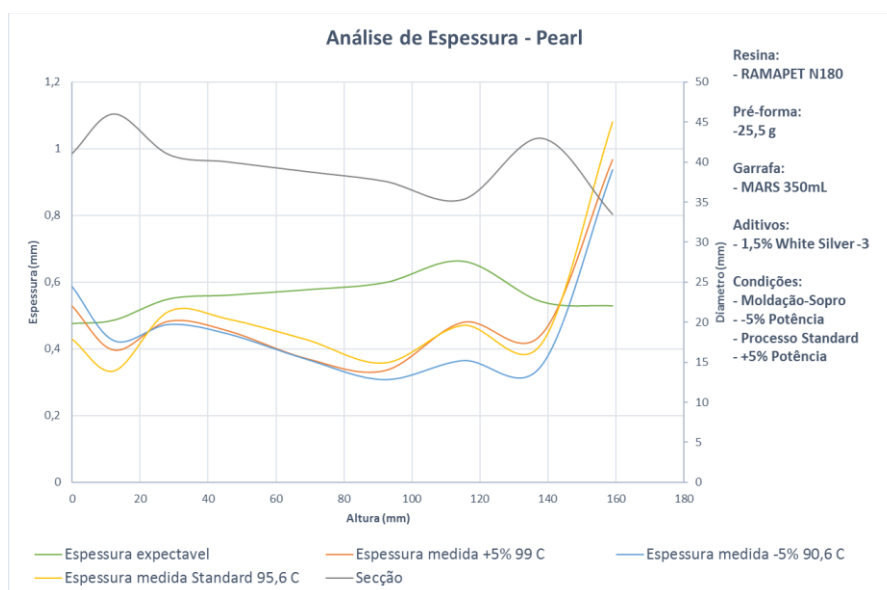


Gráfico 3.6 - Análise do efeito das alterações na potência na espessura das garrafas Pearl

As garrafas *Pearl*, como podemos observar no Gráfico 3.6, apresentam uma distribuição de material que é afetada principalmente por baixas temperaturas, que se verificam após a redução da potência do forno. Na redução de 5% ocorre na base da garrafa uma acumulação de material, o que indica um mau estiramento desta secção. Esta acumulação vai impedir que o material estire para outras secções. Nas zonas de menor secção, onde se previa uma ocorrência de maior acumulação de material, verifica-se uma redução da espessura comparativamente às restantes pré-formas (padrão e +5%). Quanto ao aumento da potência, este não afeta de forma significativa a

distribuição do material, as garrafas *Pearl* +5% apresentam valores de espessura semelhantes as garrafas *Pearl* Standard.

3.2.3. *Clear*



Figura 3.8 - Face Clear 90 graus



Figura 3.9 - Face Clear 0 graus

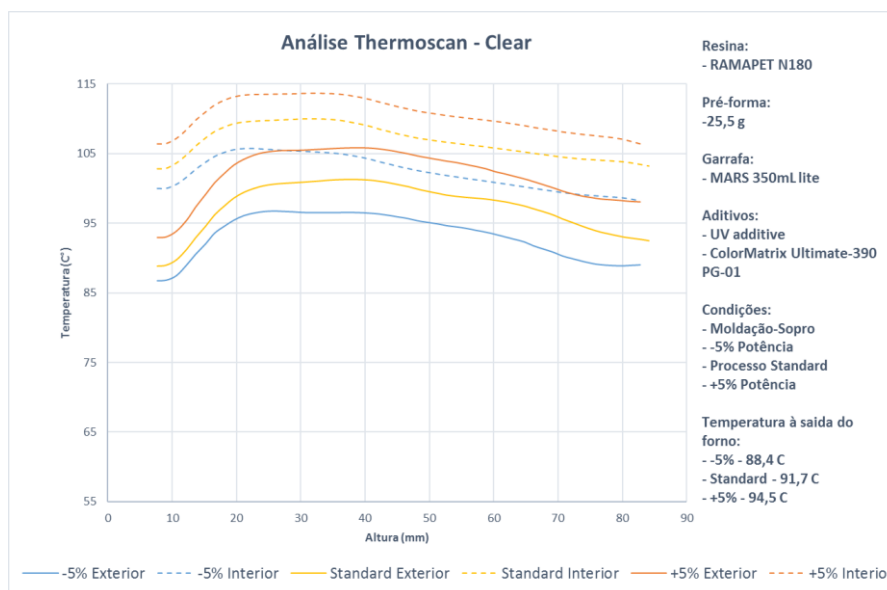


Gráfico 3.7 - Análise de Thermoscan das variações de potência nas garrafas *Clear*

Os valores obtidos para os perfis apresentam comportamentos e valores dentro do expectável. As pré-formas *Clear* apresentam um aditivo bloqueador de raios UV que não apresenta uma influência significativa no perfil térmico ou na distribuição de material.

Durante a medição do perfil térmico da pré-forma *Clear* houve um erro de medição, a nível instrumental, no qual foram ignorados os 5 primeiros pontos, não tendo sido registados. Os pontos em falta, na região do gargalo, não afetam o resultado final visto que valores restantes se apresentam dentro do esperado.

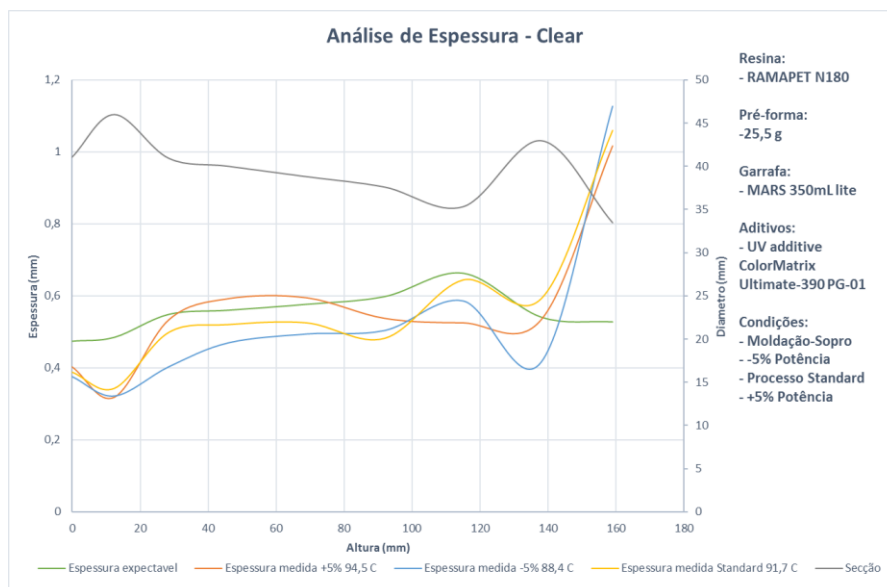


Gráfico 3.8 - Análise do efeito das alterações na potência na espessura das garrafas Clear

As zonas onde se observa um maior aquecimento correspondem às zonas das pré-formas onde se forma o balão, quando é aplicado o pré-sopro.

Comparativamente com as pré-formas anteriormente analisadas, é verificada uma maior facilidade do processo de estiramento nas pré-formas *Clear*. Nestas não existe a necessidade de atingir temperaturas tão elevadas na zona de transição abaixo do anel de transporte e da base. Um aquecimento homogêneo ao longo do perfil terá formado o balão, durante o pré-sopro, numa secção inferior relativamente às outras pré-formas, originando espessuras mais homogêneas ao longo do corpo.

Com aumento da potência do forno, o balão toca mais cedo nas paredes do molde, onde vai ser acumulado mais material, reduzindo a espessura no resto da garrafa. Quando ocorre redução da potência, o balão toca mais tarde na parede do molde acumulando mais material nas secções de menor secção, como previsto

3.2.4. Luso



Figura 3.10 - Garrafa Luso

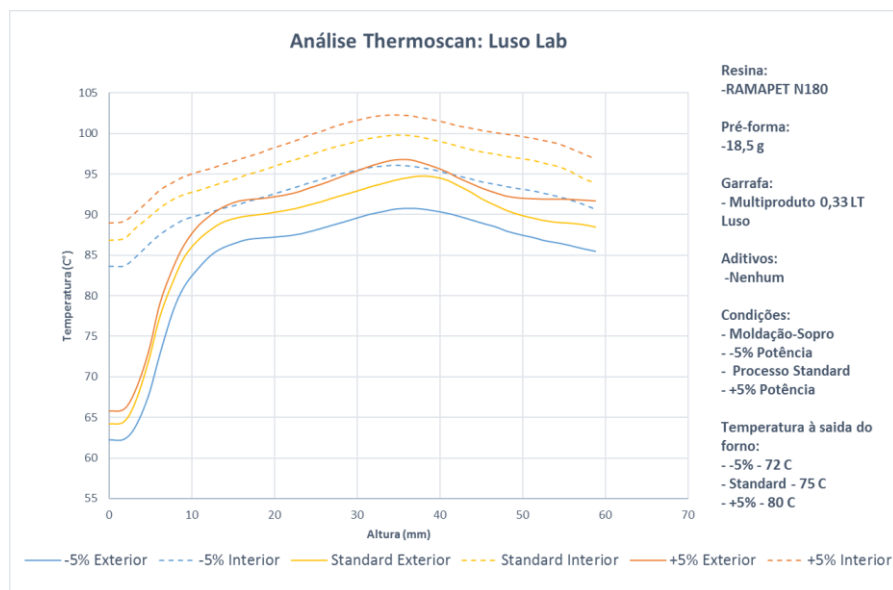


Gráfico 3.9 - Análise de Thermoscan das variações de potência nas garrafas Luso Lab

As pré-formas de *Luso*, sem aditivos, não apresentam valores muito elevados de temperaturas de processamento.

A máquina de sopro utilizada possui apenas um forno, onde só se manteve 5 das 10 lâmpadas em funcionamento, como se pode ver na Tabela 5.9, no Anexo 5.3. Esta configuração permite aquecer a pré-forma até valores que rondam os 75 °C, utilizando 4854,7 W.

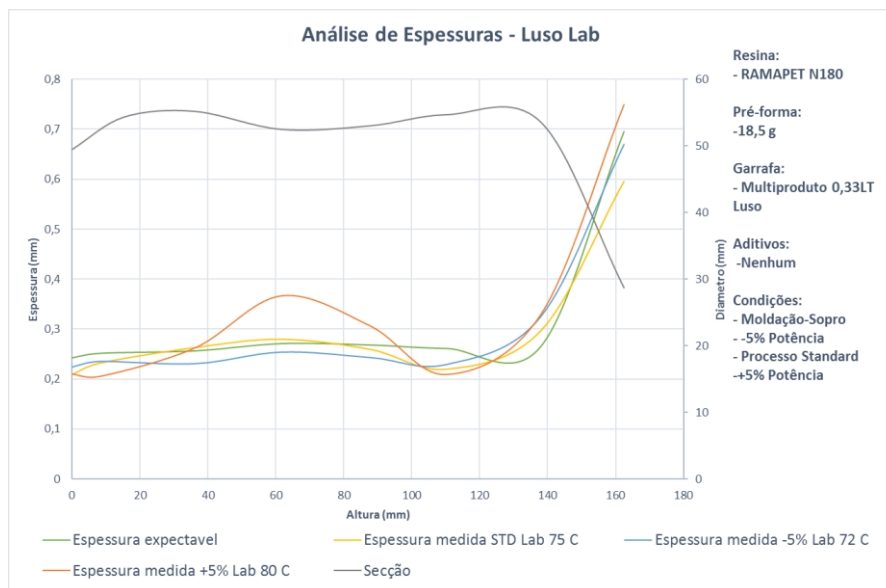


Gráfico 3.10 - Análise do efeito das alterações na potência na espessura das garrafas Luso Lab

É possível observar no Gráfico 3.10 que as alterações aplicadas à potência do forno não têm muito impacto na distribuição de material, com exceção do aumento da potência de 5%. A mobilidade adquirida pelo aumento da temperatura faz o balão tocar antecipadamente no molde, na secção de menor diâmetro, acumulando material no centro e reduzindo a espessura para as restantes secções, como visível na curva obtida pelas medidas de espessura a +5% de potência.

3.2.5. Dion



Figura 3.11 - Faces da Garrafa Dion com 2 pegas



Figura 3.12 - Faces da Garrafa Dion com pega e sem pega



Figura 3.13 - Comparação entre Dion e Águas do Porto



Figura 3.14 - Comparação entre Dion e Luso

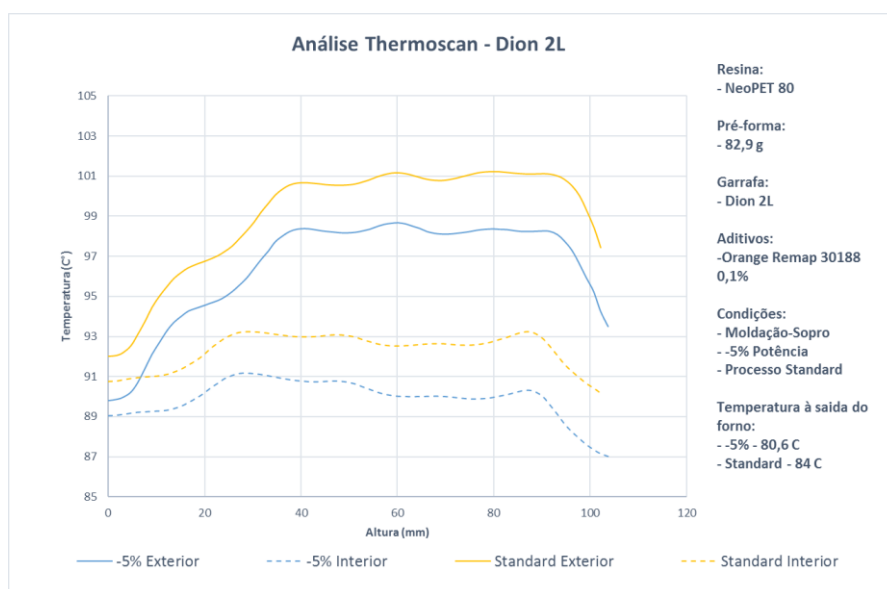


Gráfico 3.11 - Análise de Thermoscan das variações de potência nas garrafas Dion 2L

As pré-formas *Dion* apresentam um peso e espessura bastante superior relativamente às pré-formas anteriormente estudadas. As elevadas dimensões da pré-forma requerem que a potência do forno, durante o processo *Standard*, ronde os 99%, desta forma foi impossível realizar o teste onde se verifica o aumento de potência.

A máquina de sopro utiliza apenas um forno, onde as lâmpadas estão com uma configuração de potências baixas, comparativamente aos processamentos das anteriores pré-formas estudadas, sendo utilizados 4420,35 W de forma a atingir temperaturas que rondam os 100 °C. Observa-se no Gráfico 3.11, que os perfis de temperatura, para ambas as pré-formas, apresentam um comportamento dentro do esperado. Contrariamente ao que seria de prever a

temperatura no interior da pré-forma é inferior à exterior, este fenómeno não se verifica em nenhuma pré-forma previamente estudada.

Tabela 3.1 - Espessura das pré-formas

Garrafa	Espessura das pré-formas (mm)
White	5,56
Pearl	5,56
Clear	5,56
Luso	5,17
Dion	7,6
Águas do Porto	3,16
Águas de Coimbra	5,29

A pré-forma da Dion apresenta uma espessura superior, como é possível observar na tabela 3.1. É provável que a espessura superior ou tipo de corante induzam o comportamento que se verifica, mais estudos deverão ser efetuados de forma a prever quando ocorre este fenómeno. Uma redução da cadencia da maquina deveria ajudar a obter uma transmissão de calor do exterior para o interior da pré-forma de forma mais eficiente.

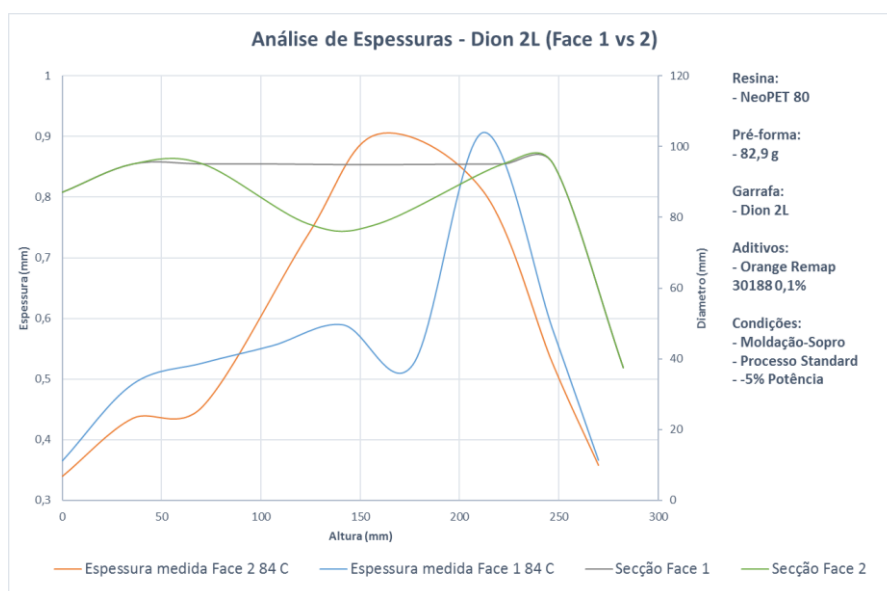


Gráfico 3.12 - Análise do efeito das alterações na potência na espessura das garrafas Dion 2L

As garrafas *Dion* têm a particularidade de ter duas faces completamente lisas, denominadas de Face 1, e duas faces com uma pega, Face 2. De forma a perceber como estas duas geometrias afetavam o produto final foram estudadas as duas faces separadamente. Analisando o Gráfico 3.12, verificamos que ambas as faces apresentam espessuras semelhantes até aproximadamente 40 mm de altura.

O pico de espessura na face 2 coincide com o valor de espessura mínima na face 1, isto indica que houve um estiramento muito superior na face 1, de forma a compensar a quantidade superior de material presente à mesma altura na face 2. Esta zona encontra-se na secção de menor secção do molde, acabando por entrar em contacto mais cedo com as paredes e acumulando mais material. Verifica-se um pico de espessura na face 1 a 210 mm de altura, que é devido à existência de um anel de acumulação na parte superior da garrafa que aumenta a espessura medida.

3.2.6. Água do Porto



Figura 3.15 - Garrafa Água do Porto

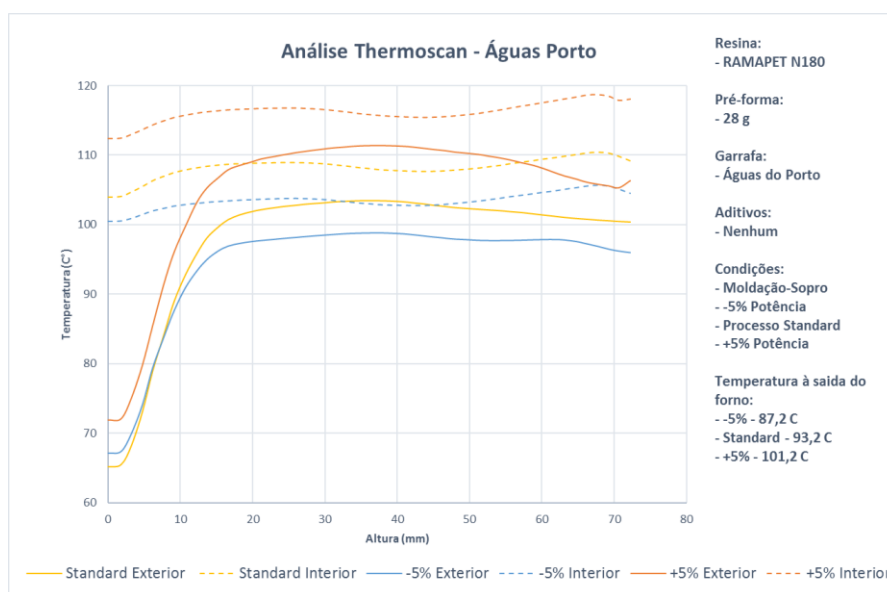


Gráfico 3.13 - Análise de Thermoscan das variações de potência nas garrafas Água do Porto

As pré-formas das *Águas do Porto* apresentam perfis de temperatura homogêneos. Estas não contêm qualquer tipo de pigmentos na sua composição, no entanto, as temperaturas de processamento são elevadas. É mais fácil processar uma garrafa sem pigmentos, quanto maior for a temperatura mais facilmente se consegue o estiramento da pré-forma, no entanto, o estiramento ideal depende da geometria pretendida para a garrafa. Assim o controlo da temperatura é essencial para obter a distribuição de material pretendida.

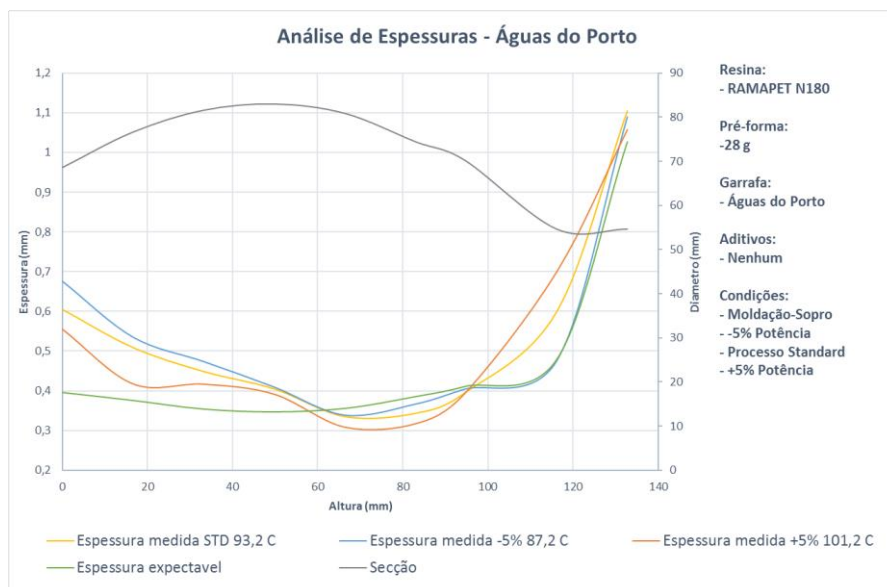


Gráfico 3.14 - Análise do efeito das alterações na potência na espessura das garrafas Água do Porto

A distribuição de material é semelhante, nas garrafas, independentemente das variações de potência, a elevada temperatura de processo pode ser a responsável pela similaridade. A ocorrência de um anel de acumulação perto do gargalo faz a espessura aumentar na parte superior.

3.2.7. Água de Coimbra



Figura 3.16 - Garrafa Águas de Coimbra, com gravação

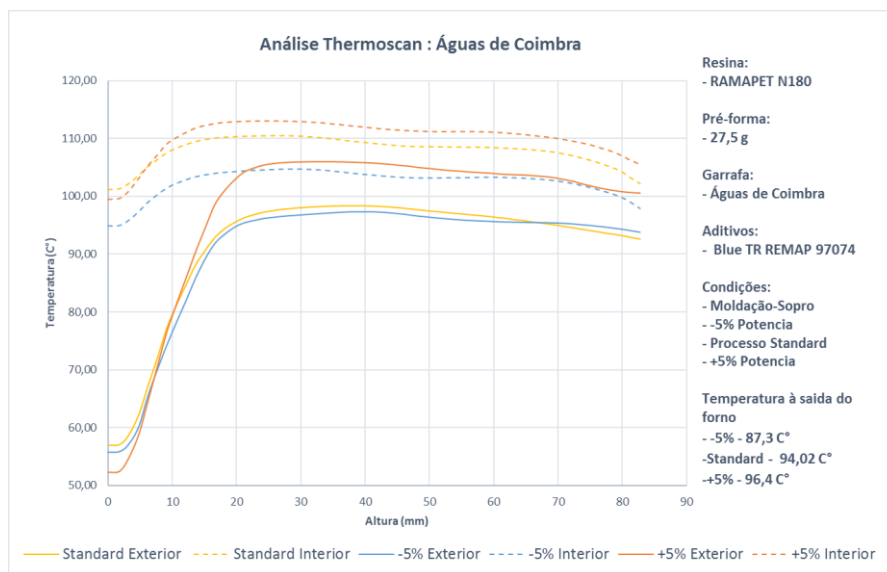


Gráfico 3.15- Análise de Thermoscan das variações de potência nas garrafas Água de Coimbra

O comportamento das pré-formas de *Águas de Coimbra* apresenta um desenvolvimento dentro do previsto. A redução da potência do forno deu origem a um perfil de temperatura semelhante ao processo standard. Este resultado não corresponde ao observado nos casos anteriores, devido a um erro experimental ligado a um arrefecimento deficiente do forno. Assim, as condições experimentais terão influenciado os resultados obtidos.

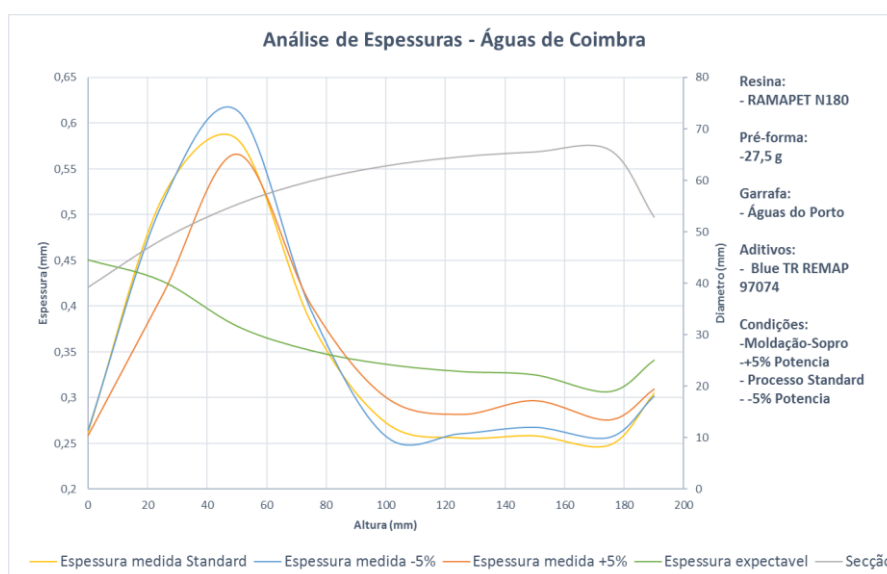


Gráfico 3.16 - Análise do efeito das alterações na potência na espessura das garrafas Água de Coimbra

A garrafa *Águas de Coimbra* apresenta espessuras inferiores na parte superior do seu corpo, a maior parte do material encontra-se na base onde o diâmetro é menor e por sua vez se acumula mais material. A cerca de 50 mm de altura verifica-se um pico de espessura, a presença de uma gravação com relevo, correspondente ao nome da garrafa, afeta toda a distribuição de material em torno desta secção.

3.3. Comparação Laboratório e Fábrica

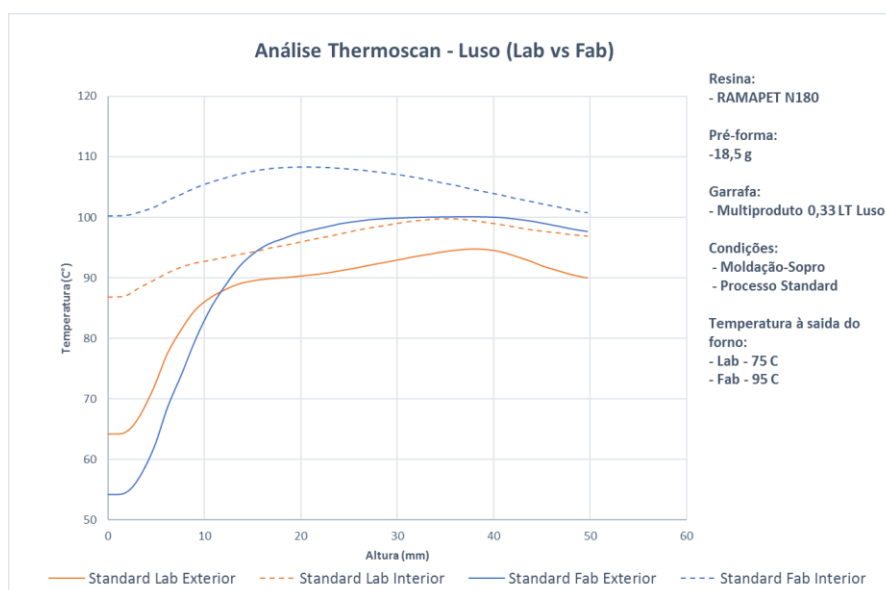


Gráfico 3.17 - Comparação do estudo de Thermoscan nas garrafas Luso Lab e Fab

As pré-formas processadas por processo industrial apresentam um perfil térmico mais estável. Aqui o processo é repetido regularmente, a máquina onde ocorre a produção possui um elevado número de fornos, permitindo que as pré-formas permaneçam mais tempo no forno, apesar da sua cadência ser superior relativamente às máquinas usadas em laboratório. O elevado número de fornos, mais potentes, permite obter uma estabilização do perfil de temperatura mais eficiente. As utilizações de processos ligeiramente diferentes, entre a fábrica e o laboratório, causaram perfis de temperatura com valores superiores em ambiente industrial e inferiores em laboratorial.

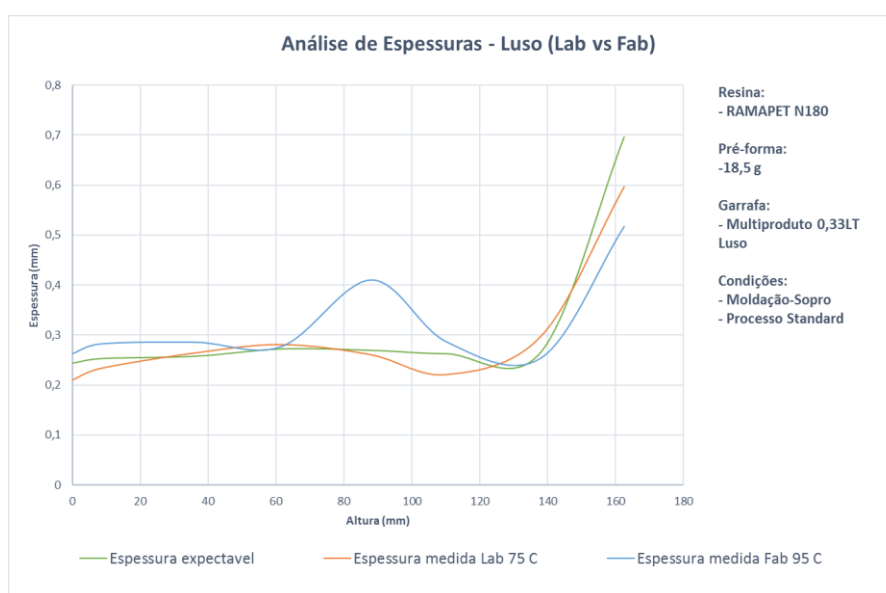


Gráfico 3.18 - Comparação das espessuras das garrafas de Luso Lab e Fab

Com o objetivo de compensar a diferença entre os perfis térmicos observados para as garrafas luso obtidas em laboratório e na fábrica, foi efetuado um ajuste na pressão de sopro. Durante a produção de garrafas Luso em fábrica foram atingidos valores de perfil térmico superiores, pelo que, para compensar o aumento de mobilidade das moléculas face ao que se verifica nas garrafas industriais será necessário aplicar pressões de sopro inferiores, como se pode verificar na Tabela 5.9, no anexo 5.3.

Analisando o Gráfico 3.18 verifica-se a existência de um pico de espessura nas garrafas produzidas industrialmente. A elevada temperatura das pré-formas pode, tal como no teste de variação da potência do forno, fazer com que o balão toque mais cedo no molde, acumulando material na zona de menor diâmetro. É possível minimizar este efeito se a pressão de pré-sopro no processo industrial for reduzida, de forma a reduzir o estiramento radial durante o pré-sopro e evitar que toque prematuramente no molde.

3.4. Validação de SBM Simulator

Com o objetivo de facilitar a simulação de resultados em Injeção-Sopro, foi realizada uma validação do software, através de uma comparação entre valores K reais e os obtidos pelo SBM Simulator, para as garrafas estudadas, cujos resultados para as restantes se encontram em anexo.

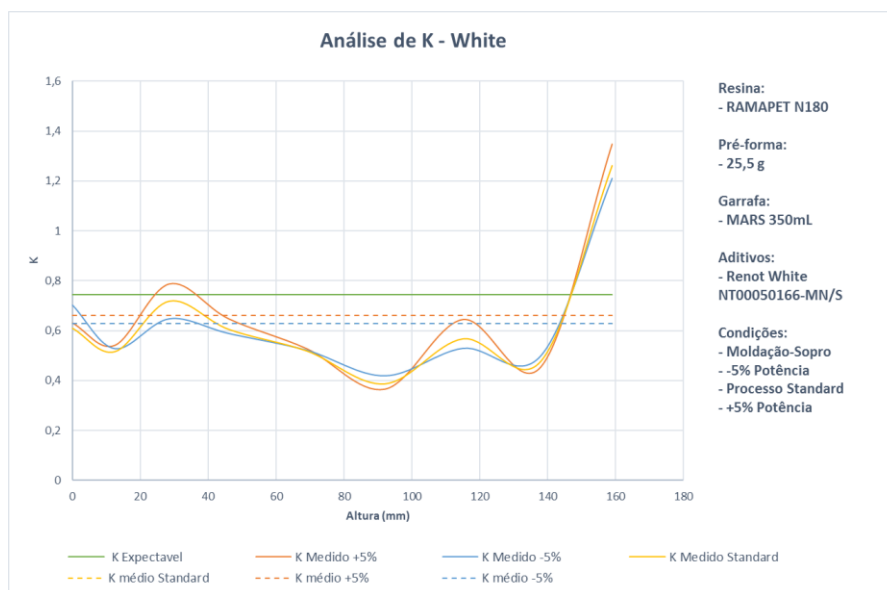


Gráfico 3.19 - Comparação de valores reais de K com Teóricos numa garrafa White

Os valores K calculados nos pontos onde foi medida a espessura das garrafas, revelam que cada ponto apresenta um valor K diferente, contrariamente ao indicado pelo *software*, que apresenta um valor K para cada perfil de garrafa. O estudo de K na garrafa *White* demonstra que, de forma a obter resultados mais fiáveis, o K do software deve ser reduzido para que se aproxime dos valores reais médios.

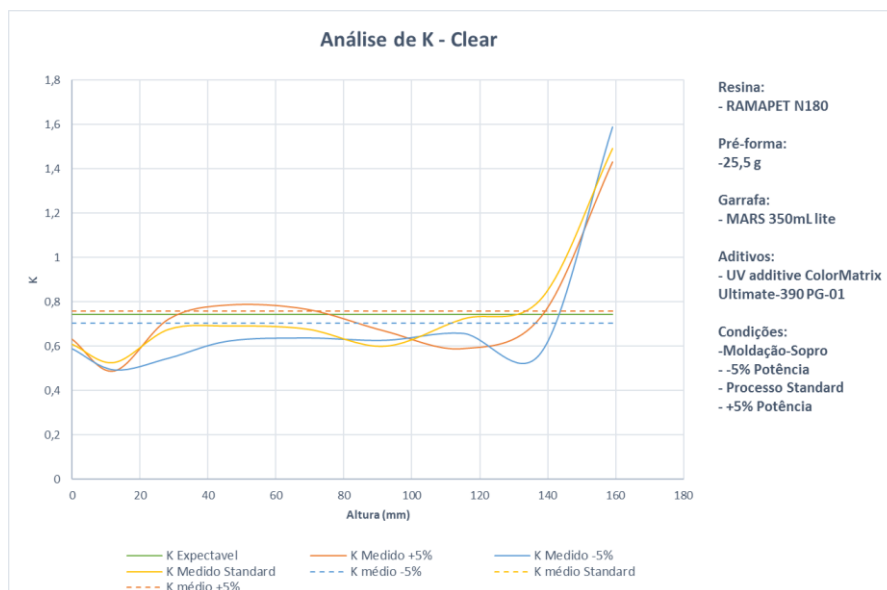


Gráfico 3.20 - Comparação de valores de K reais e teóricos numa garrafa Clear

Os valores K reais, obtidos na garrafa *Clear*, encontram-se próximos dos teóricos. O software não tem em conta a influência dos pigmentos no estiramento, desta forma, a sua ausência contribui para um melhor estiramento alcançando valores K próximos dos teóricos. Perante os resultados obtidos com as garrafas *White* e *Clear*, foram realizadas análises ao K em mais garrafas com medições de espessuras guardadas numa base de dados, com o objetivo de os comparar.

Tabela 3.2 - Comparação de valores de K reais e teóricos em garrafas Fusion Fluid S Clear⁷

Fusion Fluid " S " Clear	S/S 12 mm	S/S 60 mm	S/S 95 mm	F/B 12 mm	F/B 60 mm	F/B 95 mm	F/B 117mm
Espessura Medida	0,31	0,48	0,31	0,31	0,44	0,32	0,33
Espessura Software	0,26	0,29	0,30	0,36	0,42	0,44	0,50
K Calculado	0,67	0,48	0,76	0,88	0,74	1,07	1,17
K Software	0,79	0,79	0,79	0,77	0,77	0,77	0,77

Tabela 3.3 - Comparação de valores de K reais e teóricos em garrafas Fusion Fluid S Cream

Fusion Fluid " S " Cream	S/S 12 mm	S/S 60 mm	S/S 95 mm	F/B 12 mm	F/B 60 mm	F/B 95 mm	F/B 117mm
Espessura Medida	0,32	0,53	0,32	0,31	0,44	0,36	0,32
Espessura Software	0,26	0,29	0,30	0,36	0,42	0,44	0,50
K Calculado	0,65	0,43	0,74	0,88	0,74	0,95	1,21
K Software	0,79	0,79	0,79	0,77	0,77	0,77	0,77

Tabela 3.4 - Comparação de valores de K reais e teóricos em garrafas Fusion Fluid S Red

Fusion Fluid " S " Red	S/S 12 mm	S/S 60 mm	S/S 95 mm	F/B 12 mm	F/B 60 mm	F/B 95 mm	F/B 117mm
Espessura Medida	0,33	0,43	0,44	0,34	0,38	0,40	0,37
Espessura Software	0,26	0,29	0,30	0,36	0,42	0,44	0,50
K Calculado	0,63	0,53	0,54	0,81	0,86	0,85	1,04
K Software	0,79	0,79	0,79	0,77	0,77	0,77	0,77

Os resultados obtidos não demonstram de forma clara como o pigmento afeta o valor K. O pigmento *Red* apresenta valores mais estáveis nas faces frontais e mais instáveis nas laterais. Os valores obtidos na *Clear* são o oposto, apresentando valores mais estáveis nas laterais e menos estáveis nas frontais.

⁷ S/S (Side to side), representa a face lateral e F/B (Front to back) representa a face frontal de cada garrafa.

3.5. Relação Cristalinidade – Corante



Figura 3.17 - Garrafa Água do Porto sem corante



Figura 3.18 - Garrafa Água do Porto com corante azul

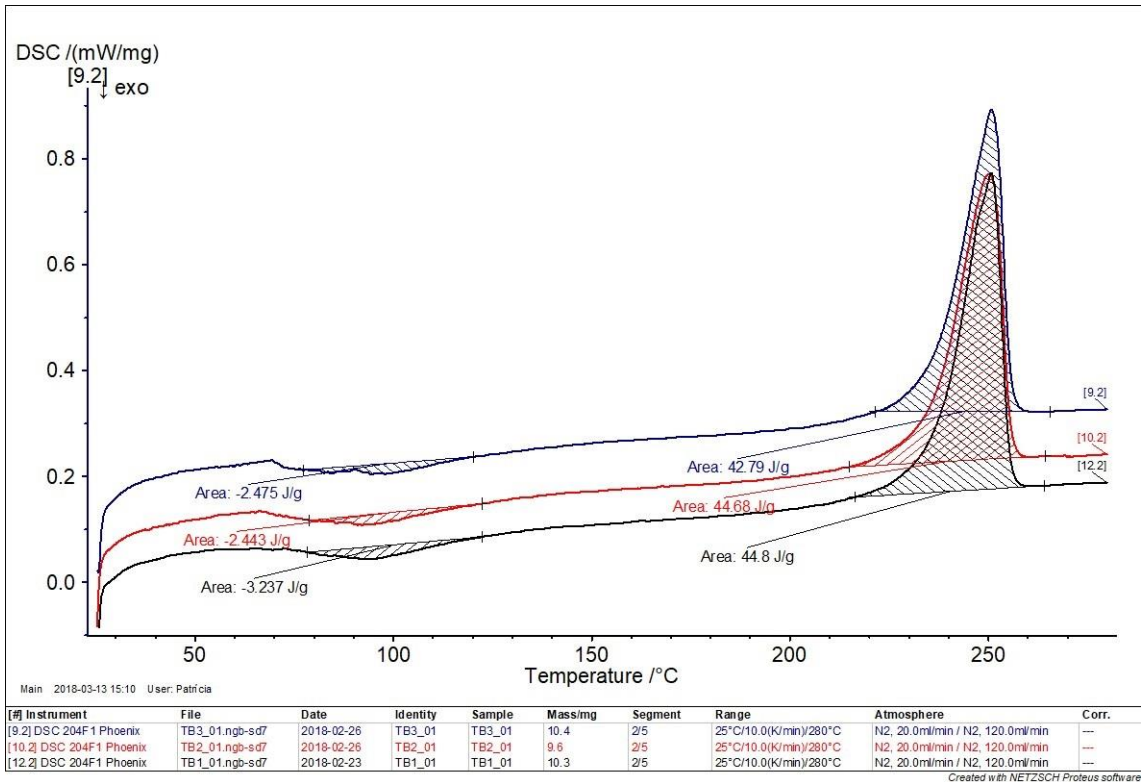


Gráfico 3.21 - Curva DSC para as garrafas de Água do Porto sem corante, secção inferior.

O calor de cristalização a frio (ΔH_c) e de fusão (ΔH_m) das amostras, são determinados pela integração da área dos picos de cristalização a frio e de fusão que se observam no Gráfico 3.21, a cerca de 100 C° e 250 C° respetivamente.

A percentagem de cristalinidade da amostra é calculada pela equação:

$$\% \text{ Cristalinidade} = \frac{\Delta H_m - \Delta H_c}{\Delta H_m^\circ} \times 100$$

Onde ΔH_m° é o valor referência que representa o calor de fusão do polímero, com 100% cristalinidade. Para o polímero da amostra, PET, este valor é de 140,1 J/g [22].

Tabela 3.5 - Valores de cristalinidade das garrafas de Água do Porto

Amostra	Secção	ΔH_m (J/g)	ΔH_c (J/g)	% Cristalinidade	Média (%)
Com Pigmento	Inferior 1	66,8100	4,3740	44,5653	37,0031
	Inferior 2	51,1700	1,8890	35,1756	
	Inferior 3	49,6200	5,8130	31,2684	
	Superior 1	47,9700	4,7160	30,8737	31,2646
	Superior 2	50,4100	2,8030	33,9807	
	Superior 3	44,3600	3,8160	28,9393	
Sem Pigmento	Inferior 1	44,8000	3,2370	29,6667	29,5301
	Inferior 2	44,6800	2,4430	30,1478	
	Inferior 3	42,7900	2,4750	28,7759	
	Superior 1	41,9700	2,3070	28,3105	26,1732
	Superior 2	37,9500	2,8070	25,0842	
	Superior 3	42,0400	6,8400	25,1249	
ΔH_m° (J/g) PET		140,10			

Para este teste é possível verificar que a introdução de pigmento tem influência na cristalinidade do produto final. A garrafa apresenta valores de cristalinidade superiores nas suas secções inferiores, e inferiores nas partes mais próximas do topo. A adição de pigmento, para este ensaio, resulta num aumento de cristalinidade tanto na face superior como na inferior, com maior ênfase na face inferior. De forma a confirmar o comportamento, seria interessante em testes futuros estudar a influência de diferentes pigmentos e da geometria das garrafas e das pré-formas.

4. Conclusões

A presença de pigmentos opacos afeta o processo de reaquecimento das pré-formas. Pigmentos opacos, como o White, exigem temperaturas de processamento mais elevadas, de forma a garantir a transferência de calor entre a superfície e o interior da pré-forma. Alguns pigmentos, como o Pearl, possuem partículas metálicas como óxidos de ferro, que apresentam uma condutividade térmica elevada e um RST baixo facilitando o aquecimento. A espessura da pré-forma demonstrou também ter influência na transferência de calor. As pré-formas Dion, consideravelmente maiores e mais espessas que as outras, apresentam temperaturas exteriores superiores aos interiores, o que não se verifica em nenhuma pré-forma estudada.

O perfil térmico é responsável pela distribuição de material do produto final. A alteração da potência do forno vai aumentar ou reduzir os valores do perfil térmico das pré-formas. O estudo de geometrias diferentes, como Luso, Águas de Coimbra, Águas do Porto e Dion, verificou uma tendência para acumulação de material em pontos específicos nas garrafas, onde o diâmetro do molde apresenta valores menores quando houve aumento de potência do forno. A redução da potência, por outro lado, tem tendência a produzir distribuições de material mais homogêneas, onde dependendo da geometria pode não distribuir material suficiente para secções onde maiores espessuras são necessárias.

A comparação entre o processo de laboratório e o industrial revela que o perfil térmico industrial é mais uniforme que o laboratorial devido ao tempo superior que a pré-forma está no

forno e a potencia das lâmpadas, apresentando valores de perfil térmico superiores consequentemente. A compensação do aumento da temperatura com a redução da pressão de pré-sopro não revela ser eficaz, criando um ponto de acumulação de material na garrafa, sendo necessário reduzir mais a pressão ou caudal de pré-sopro para obter uma melhor compensação do aumento da temperatura face a produção em laboratório.

A validação do *software SBM Simulator* aponta para a necessidade de ajustar o valor de K de forma a aproximar este dos valores médios obtidos para as garrafas estudadas e armazenadas em base de dados. Foi também observado que a presença de pigmentos tem tendência a fazer variar o K real das garrafas.

A presença de pigmentos nas pré-formas conduz a um aumento da cristalinidade na garrafa, sendo que um bom controlo da cristalinidade é essencial para garantir que as características da garrafa são as pretendidas.

Referências

- [1] A. D’Costa, “Characterization of key process parameters in injection blow molding for improving quality,” *ProQuest Diss. Theses*, vol. V, no. 2, p. 100, 2007.
- [2] K. Nováková, K. Šeps, and H. Achten, “Experimental development of a plastic bottle usable as a construction building block created out of polyethylene terephthalate: Testing PET(b)rick 1.0,” *J. Build. Eng.*, vol. 12, no. May, pp. 239–247, 2017.
- [3] C. Orset, N. Barret, and A. Lemaire, “How consumers of plastic water bottles are responding to environmental policies?,” *Waste Manag.*, vol. 61, pp. 13–27, 2017.
- [4] J. M. G. Cowie, *Polymers: Chemistry & Physics of Modern Materials*, 2nd ed. Chapman & Hall, 1991.
- [5] C. Lima, “Polimeros e Materiais Polimericos,” 1999. [Online]. Available: http://educa.fc.up.pt/destaques_documentos.php?id_noticia=69. [Accessed: 12-Dec-2017].
- [6] F. Billmeyer, *Textbook of Polymer Science*, 3rd ed. Wiley-Interscience Publication, 1984.
- [7] M. Bordival, Y. Le Maout, and F. M. Schmidt, “Optimisation of preform temperature distribution for the stretch-blow moulding of pet bottles,” *Int. J. Mater. Form.*, vol. 1, no. SUPPL. 1, pp. 1023–1026, 2008.
- [8] X. P. Dang, “General frameworks for optimization of plastic injection molding process parameters,” *Simul. Model. Pract. Theory*, vol. 41, pp. 15–27, 2014.
- [9] A. T. Bozdana and Ö. Eyercilu, “Development of an expert system for the determination of injection moulding parameters of thermoplastic materials: EX-PIMM,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 128, no. 1–3, pp. 113–122, 2002.
- [10] O. Brandau, *Stretch Blow Molding*, 2nd ed. Chadds Ford, PA, USA: PDL Handbook Series, 2012.
- [11] C. a Seneci, M. Mor, D. Fausti, G. Petrogalli, and C. Remino, “Simulation and Design of an Oven for PET Blow Molding Machines,” no. Figure 2, 2012. Excerpt from the Proceedings of the 2012 COMSOL Conference in Milan
- [12] B. S. Monteix, Y. Le Maout, F. Schmidt, and J. P. Arcens, “Quantitative infrared thermography applied to blow moulding process : measurement of a heat transfer coefficient,” *Quant. Infrared Thermogr. J.*, vol. 1, no. 2, pp. 1–7, 2004.
- [13] F. Daver and B. Demirel, “A simulation study of the effect of preform cooling time in injection stretch blow molding,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 212, no. 11, pp. 2400–2405, 2012.
- [14] F. Thibault, A. Malo, B. Lanctot, and R. Diraddo, “Preform shape and operating condition optimization for the stretch blow molding process,” *Polym. Eng. Sci.*, vol. 47, no. 3, pp. 289–301, 2007.
- [15] S. Yan, G. Menary, and J. Nixon, “A novel methodology to characterize the constitutive behaviour of polyethylene terephthalate for the stretch blow moulding process,” *Mech. Mater.*, vol. 104, pp. 93–106, 2017.
- [16] J. Schultz, *Polymer Materials Science*, 1st ed. Prentice-Hall, 1974.
- [17] A. Choodum, P. Thavarungkul, and P. Kanatharana, “Acetaldehyde residue in polyethylene terephthalate (PET) bottles,” *J. Environ. Sci. Heal. Part B Pestic. Food*

Contam. Agric. Wastes, vol. 42:5, pp. 577–583, 2007.

- [18] N. Baumjohann and D. Harms, “Development of an LC-MS/MS method for studying migration characteristics of acetaldehyde in polyethylene terephthalate (PET)-packed mineral water,” *Food Addit. Contam. Part A*, vol. 32, no. November, pp. 1552–1560, 2015.
- [19] “Magna-Mike 8600,” *Olympus Scientific Solutions Americas Corp.* [Online]. Available: <https://www.olympus-ims.com/pt/magna-mike8600/>. [Accessed: 07-Dec-2017].
- [20] R. Sengupta *et al.*, “A Short Review on Rubber / Clay Nanocomposites With Emphasis on Mechanical Properties,” *Engineering*, vol. 47, pp. 21–25, 2007.
- [21] A. Bishara, H. Kramberger-kaplan, and V. Ptatschek, “Influence of different pigments on the facade surface temperatures,” *Energy Procedia*, vol. 132, pp. 447–453, 2017.
- [22] W. J. Sichina, “DSC as Problem Solving Tool : Measurement of Percent Crystallinity of Thermoplastics,” *PerkinElmer instruments*, 2000.

5. Anexos

5.1. Número de pré-formas recolhidas

Tabela 5.1- Número de pré-formas de Dion, Água do Porto e Coimbra recolhidas

Tipo de garrafa	Número de pré-formas		
	Positive Release	AL+ +5%	AL+ -5%
Dion	15	3	3
Águas do Porto	15	3	3
Águas de Coimbra	15	3	3

Tabela 5.2 - Número de pré-formas das garrafas Ludo recolhidas

Tipo de garrafa	Número de preformas		
	Positive Release	AL+ +5%	AL+ -5%
Luso Lab	15	3	3
Luso Fab	15	3	3

5.2. Número de Garrafas recolhidas

Tabela 5.3 - Número de garrafas de Dion, Água do Porto e Água de Coimbra recolhidas

Tipo de garrafa	Número de garrafas		
	Positive Release	AL+ +5%	AL+ -5%
Dion	15	-	3
Águas do Porto	15	3	3
Águas de Coimbra	15	3	3

Tabela 5.4- Número de garrafas Luso recolhidas

Tipo de garrafa	Número de garrafas		
	Positive Release	AL+ +5%	AL+ -5%
Luso Lab	15	3	3
Luso Fab	6	-	-

5.3. Comparação de parâmetros de produção

Tabela 5.5- Comparação de parâmetros em Pearl

	Pearl -5%	Pearl Standard	Pearl +5%
Configurações gerais			
Pré-forma	LGP GB 02-033	LGP GB 02-033	LGP GB 02-033
Peso (g)	25,5	25,5	25,5
Aditivos	White Silver - 3	White Silver - 3	White Silver - 3
Taxa de adição	1,50%	1,50%	1,50%
Power Startup - AL2	64%	69%	73%
Temperatura do forno (C°)	-	60	-
Temperatura da pré-forma (C°)	90,6	95,6	99
Configurações do forno			
Ventilação	72%	72%	72%
Configuração do aquecimento	Preferential	Preferential	Preferential
Espaçamento do forno	38 mm	38 mm	38 mm
Posição de aquecimento preferencial	24 mm	24 mm	24 mm
Cadência - G/h	800	800	800
Arrefecimento			
Temperatura da água (C°)	17 C°	17 C°	17 C°
Configurações da vara de estiramento			
Diametro da vara de estiramento	14 mm	14 mm	14 mm
Configurações do Sopro			
Pressão de Pré-Sopro	8 bars	8 bars	8 bars
Pressão de Sopro	39 bars	39 bars	39 bars

Tabela 5.6 - Comparação de parâmetros em Clear

	Clear -5%	Clear Standard	Clear +5%
Configurações gerais			
Pré-forma	LGP GB 02-033	LGP GB 02-033	LGP GB 02-033
Peso (g)	25,5	25,5	25,5
Aditivos	UV additive ColorMatrix Ultimate- 390 PG-01	UV additive ColorMatrix Ultimate- 390 PG-01	UV additive ColorMatrix Ultimate- 390 PG-01
Taxa de adição	0,05%	0,05%	0,05%
Power Startup - AL2	81%	86%	91%
Temperatura do forno (C°)	-	62	-
Temperatura da pré-forma (C°)	88,4	91,7	94,5
Configurações do forno			
Ventilação	70%	70%	70%
Configuração do aquecimento	Preferential	Preferential	Preferential
Espaçamento do forno	38 mm	38 mm	38 mm
Posição de aquecimento preferencial	24 mm	24 mm	24 mm
Cadência - G/h	800	800	800
Arrefecimento			
Temperatura da água (C°)	17 C°	17 C°	17 C°
Configurações da vara de estiramento			
Diametro da vara de estiramento	14 mm	14 mm	14 mm
Configurações do Sopro			
Pressão de Pré-Sopro	8 bars	8 bars	8 bars
Pressão de Sopro	35 bars	35 bars	35 bars

Tabela 5.7- Comparação de parâmetros em Dion

	Dion 2L -5%	Dion 2L Standard
Configurações gerais		
Pré-forma	LGP PT 10-044	LGP PT 10-044
Peso (g)	82,9	82,9
Aditivos	Orange Remap 30188	Orange Remap 30188
Taxa de adição	0,10%	0,10%
Power Startup - AL2	94%	99%
Temperatura do forno (C°)	-	96
Temperatura da pré-forma (C°)	80,6	84
Configurações do forno		
Ventilação	-	-
Configuração do aquecimento	Não Preferencial	Não Preferencial
Espaçamento do forno	-	-
Posição de aquecimento preferencial	-	-
Cadência - G/h	700	700
Arrefecimento		
Temperatura da água (C°)	16 C°	16 C°
Configurações da vara de estiramento		
Diametro da vara de estiramento	14 mm	14 mm
Configurações do Sopro		
Pressão de Pré-Sopro	10 bars	10 bars
Pressão de Sopro	35 bars	35 bars

Tabela 5.8 - Comparação de parâmetros em Água do Porto

	Águas do Porto -5%	Águas do Porto Standard	Águas do Porto +5%
Configurações gerais			
Pré-forma	P280WG RESILUX	P280WG RESILUX	P280WG RESILUX
Peso (g)	28	28	28
Aditivos	-	-	-
Taxa de adição	-	-	-
Power Startup - AL2	48%	53%	58%
Temperatura do forno (C°)	69,6	74	81
Temperatura da pré-forma (C°)	87,2	93,2	101,2
Configurações do forno			
Ventilação	-	-	-
Configuração do aquecimento	Não Preferencial	Não Preferencial	Não Preferencial
Espaçamento do forno	-	-	-
Posição de aquecimento preferencial	-	-	-
Cadência - G/h	800	800	800
Arrefecimento			
Temperatura da água (C°)	17 C°	17 C°	17 C°
Configurações da vara de estiramento			
Diametro da vara de estiramento	14 mm	14 mm	14 mm
Configurações do Sopro			
Pressão de Pré-Sopro	5 bars	5 bars	5 bars
Pressão de Sopro	38 bars	38 bars	38 bars

Tabela 5.9- Comparação de parâmetros em Luso

	Luso Lab -5%	Luso Lab Standard	Luso Lab +5%	Luso Fab Standard
Configurações gerais				
Pré-forma	PT 10-040 ED02	PT 10-040 ED02	PT 10-040 ED02	PT 10-040 ED02
Peso (g)	18,5	18,5	18,5	18,5
Aditivos	-	-	-	-
Taxa de adição	-	-	-	-
Power Startup - AL2	84%	89%	94%	-
Temperatura do forno (C°)	-	62	-	-
Temperatura da pré-forma (C°)	72	75	80	95
Configurações do forno				
Ventilação	-	-	-	70,00
Configuração do aquecimento	Não Preferential	Não Preferential	Não Preferential	Não Preferential
Espaçamento do forno	-	-	-	-
Posição de aquecimento preferencial	-	-	-	-
Cadência - G/h	900	900	900	17000
Arrefecimento				
Temperatura da água (C°)	17 C°	17 C°	17 C°	17 C°
Configurações da vara de estiramento				
Diametro da vara de estiramento	11 mm	11 mm	11 mm	11 mm
Configurações do Sopro				
Pressão de Pré-Sopro	7 bars	7 bars	7 bars	7 bars
Pressão de Sopro	35 bars	35 bars	35 bars	28 bars

Tabela 5.10 - Comparação de parâmetros em Água de Coimbra

	Águas de Coimbra -5%	Águas de Coimbra Standard	Águas de Coimbra +5%
Configurações gerais			
Pré-forma	LGP P 10-061 ED01	LGP P 10-061 ED01	LGP P 10-061 ED01
Peso (g)	27,5	27,5	27,5
Aditivos	Repi Blue 97074	Repi Blue 97074	Repi Blue 97074
Taxa de adição	0,01%	0,01%	0,01%
Power Startup - AL2	61,50%	66,50%	71,50%
Temperatura do forno (C°)	64,1	70,8	72,9
Temperatura da pré-forma (C°)	87,3	94,02	95,4
Configurações do forno			
Ventilação	50%	50%	50%
Configuração do aquecimento	Não Preferential	Não Preferential	Não Preferential
Espaçamento do forno	38mm	38mm	38mm
Posição de aquecimento preferencial	24mm	24mm	24mm
Cadência - G/h	800	800	800
Arrefecimento			
Temperatura da água (C°)	17 C°	17 C°	17 C°
Configurações da vara de estiramento			
Diametro da vara de estiramento	14 mm	14 mm	14 mm
Configurações do Sopro			
Pressão de Pré-Sopro	7 bars	7 bars	7 bars
Pressão de Sopro	35 bars	35 bars	35 bars

5.4. Configuração dos fornos

Tabela 5.11 - Configuração do forno para White

		Power Startup (%)	67	White				
		Potência das Lâmpadas (W)	Forno 1	Forno 2	Potência do Forno (W)	Potência do forno (%)	Potência efectiva do forno (W)	Potência efectiva (W)
Lâmpada 1		2500	On	On	5000	65	3250	2177,5
Lâmpada 2			On	On	5000	43	2150	1440,5
Lâmpada 3		2000	On	On	4000	25	1000	670
Lâmpada 4			On	On	4000	25	1000	670
Lâmpada 5			On	On	4000	25	1000	670
Lâmpada 6			On	On	4000	20	800	536
Lâmpada 7			On	On	4000	20	800	536
Lâmpada 8			Off	On	2000	20	400	268
Lâmpada 9			Off	Off	0	0	0	0
Lâmpada 10			On	Off	2000	35	700	469
							Total	7437

Tabela 5.12- Configuração do forno para Pearl

Power Startup (%)		69	Pearl				
Potência das Lâmpadas (W)		Forno 1	Forno 2	Potência do Forno (W)	Potência do forno (%)	Potência efectiva do forno (W)	Potência efectiva (W)
Lâmpada 1	2500	On	On	5000	68	3400	2346
Lâmpada 2		On	On	5000	28	1400	966
Lâmpada 3		On	On	4000	20	800	552
Lâmpada 4		On	On	4000	20	800	552
Lâmpada 5		On	On	4000	20	800	552
Lâmpada 6	2000	On	On	4000	25	1000	690
Lâmpada 7		On	On	4000	20	800	552
Lâmpada 8		Off	On	2000	20	400	276
Lâmpada 9		Off	Off	0	0	0	0
Lâmpada 10		On	Off	2000	30	600	414
						Total	6900

Tabela 5.13- Configuração do forno para Clear

Power Startup (%)		86	Clear				
Potência das Lâmpadas (W)	Forno 1	Forno 2	Potência do Forno (W)	Potência do forno (%)	Potência efectiva do forno (W)	Potência efectiva (W)	
Lâmpada 1	On	On	5000	52	2600	2236	
Lâmpada 2	On	On	5000	33	1650	1419	
Lâmpada 3	2000	On	4000	20	800	688	
Lâmpada 4		On	4000	20	800	688	
Lâmpada 5		On	4000	18	720	619,2	
Lâmpada 6		On	4000	20	800	688	
Lâmpada 7		On	4000	18	720	619,2	
Lâmpada 8		Off	Off	0	0	0	
Lâmpada 9		Off	Off	0	0	0	
Lâmpada 10		On	Off	2000	20	400	344
					Total	7301,4	

Tabela 5.14 - Configuração do forno para Dion 2L

	Power Startup (%)	99	Dion 2L				
	Potência das Lâmpadas (W)	Forno 1	Forno 2	Potência do Forno (W)	Potência do forno (%)	Potência efectiva do forno (W)	Potência efectiva (W)
Lâmpada 1	2500	On	-	2500	48	1200	1188
Lâmpada 2		On	-	2500	53	1325	1311,75
Lâmpada 3		On	-	2000	33	660	653,4
Lâmpada 4		On	-	2000	32	640	633,6
Lâmpada 5	2000	On	-	2000	32	640	633,6
Lâmpada 6		On	-	2000	30	600	594
Lâmpada 7		On	-	2000	32	640	633,6
Lâmpada 8		On	-	2000	29	580	574,2
Lâmpada 9		On	-	2000	40	800	792
Lâmpada 10		On	-	2000	57	1140	1128,6
					Total	4420,35	

Tabela 5.15- Configuração do forno para Água do Porto

Power Startup (%)		53		Águas do Porto			
Potência das Lâmpadas (W)		Forno 1	Forno 2	Potência do Forno (W)	Potência do forno (%)	Potência efectiva do forno (W)	Potência efectiva (W)
Lâmpada 1	2500	On	On	5000	51	2550	1351,5
Lâmpada 2		On	On	5000	44	2200	1166
Lâmpada 3		On	On	4000	28	1120	593,6
Lâmpada 4		On	On	4000	28	1120	593,6
Lâmpada 5	2000	On	On	4000	40	1600	848
Lâmpada 6		On	On	4000	49	1960	1038,8
Lâmpada 7		On	On	4000	49	1960	1038,8
Lâmpada 8		Off	Off	0	0	0	0
Lâmpada 9		Off	Off	0	0	0	0
Lâmpada 10		On	Off	2000	35	700	371
						Total	7001,3

Tabela 5.16- Configuração do forno para Luso Lab

Power Startup (%)		86	Luso Lab				
	Potência das Lâmpadas (W)	Forno 1	Forno 2	Potência do Forno (W)	Potência do forno (%)	Potência efectiva do forno (W)	Potência efectiva (W)
Lâmpada 1	2500	On	-	2500	54	1350	1161
Lâmpada 2		On	-	2500	55	1375	1182,5
Lâmpada 3		On	-	2000	60	1200	1032
Lâmpada 4		On	-	2000	60	1200	1032
Lâmpada 5	2000	On	-	2000	26	520	447,2
Lâmpada 6		Off	-	0	0	0	0
Lâmpada 7		Off	-	0	0	0	0
Lâmpada 8		Off	-	0	0	0	0
Lâmpada 9		Off	-	0	0	0	0
Lâmpada 10		Off	-	0	0	0	0
						Total	4854,7

Tabela 5.17 - Configuração do forno para Água de Coimbra

	Power Startup (%)	53	Águas de Coimbra				
	Potência das Lâmpadas (W)	Forno 1	Forno 2	Potência do Forno (W)	Potência do forno (%)	Potência efectiva do forno (W)	Potência efectiva (W)
Lâmpada 1	2500	On	On	5000	44	2200	1166
Lâmpada 2		On	On	5000	28	1400	742
Lâmpada 3		On	On	4000	20	800	424
Lâmpada 4		On	On	4000	25	1000	530
Lâmpada 5	2000	On	On	4000	35	1400	742
Lâmpada 6		On	On	4000	35	1400	742
Lâmpada 7		On	On	4000	33	1320	699,6
Lâmpada 8		Off	Off	0	0	0	0
Lâmpada 9		Off	Off	0	0	0	0
Lâmpada 10		On	Off	2000	30	600	318
						Total	5363,6

5.5. Valores do perfil de temperatura

Tabela 5.18 - Dados Thermoscan White

Altura [mm]	White					
	-5%		Standard		5%	
	Exterior Cº	Interior Cº	Exterior Cº	Interior Cº	Exterior Cº	Interior Cº
0	58,12	84,17	59,84	86,00	63,18	91,58
1,78	58,33	84,31	59,96	86,08	63,19	91,57
3,17	60,68	85,66	62,45	87,56	65,45	92,86
4,75	66,66	88,23	67,95	90,13	71,15	95,46
6,14	72,39	90,81	74,09	93,06	77,99	98,58
7,72	77,52	93,07	79,63	95,78	84,20	101,19
9,1	82,26	95,31	84,13	98,13	89,19	103,64
10,69	85,23	97,07	87,54	100,22	92,96	105,90
12,27	87,56	98,53	90,24	101,96	95,83	107,62
13,66	89,74	99,89	92,43	103,42	98,02	109,21
15,24	91,23	100,89	94,21	104,62	99,80	110,59
16,63	92,51	101,61	95,72	105,53	101,34	111,54
18,21	93,77	102,18	96,99	106,19	102,67	112,30
19,59	94,60	102,57	98,01	106,66	103,78	112,87
21,18	95,26	102,83	98,79	106,99	104,66	113,23
22,76	95,82	103,07	99,37	107,25	105,33	113,53
24,15	96,16	103,28	99,79	107,47	105,81	113,80
25,73	96,46	103,49	100,12	107,69	106,19	114,02
27,12	96,75	103,71	100,40	107,90	106,51	114,26
28,7	96,99	103,90	100,64	108,09	106,83	114,48
30,28	97,26	104,05	100,88	108,25	107,13	114,66
31,67	97,56	104,13	101,12	108,32	107,42	114,78
33,25	97,79	104,15	101,33	108,35	107,69	114,83
34,64	98,00	104,10	101,50	108,32	107,93	114,81
36,22	98,16	103,94	101,62	108,21	108,11	114,70
37,6	98,24	103,69	101,68	108,00	108,23	114,49
39,19	98,26	103,39	101,67	107,71	108,29	114,21
40,77	98,17	102,98	101,58	107,37	108,24	113,84
42,16	98,00	102,58	101,42	107,00	108,11	113,42
43,74	97,78	102,22	101,17	106,65	107,91	113,04
45,13	97,44	101,85	100,88	106,33	107,63	112,68
46,71	97,13	101,54	100,58	106,03	107,32	112,32
48,09	96,84	101,29	100,29	105,80	107,03	112,05
49,68	96,51	101,04	100,02	105,61	106,75	111,82
51,26	96,26	100,82	99,77	105,43	106,51	111,59
52,65	96,04	100,61	99,55	105,25	106,30	111,38
54,23	95,79	100,38	99,35	105,07	106,11	111,15
55,62	95,61	100,14	99,18	104,87	105,93	110,90
57,2	95,44	99,91	99,03	104,66	105,78	110,64
58,78	95,24	99,62	98,86	104,42	105,61	110,36
60,17	95,07	99,34	98,70	104,16	105,45	110,04
61,75	94,89	99,06	98,51	103,90	105,25	109,73
63,14	94,62	98,73	98,31	103,63	105,02	109,39
64,72	94,39	98,40	98,09	103,35	104,78	109,01
66,11	94,13	98,07	97,85	103,07	104,53	108,65
67,69	93,73	97,69	97,59	102,78	104,23	108,24
69,27	93,29	97,34	97,31	102,49	103,81	107,78
70,66	92,74	97,02	97,00	102,20	103,15	107,39
72,24	91,97	96,69	96,65	101,89	102,19	107,01
73,63	91,30	96,41	96,23	101,56	101,00	106,64
75,21	90,64	96,15	95,72	101,19	99,85	106,34
76,6	89,91	95,84	95,07	100,80	98,88	106,00
78,18	89,33	95,51	94,30	100,36	98,09	105,60
79,76	88,78	95,15	93,44	99,86	97,47	105,17
81,15	88,14	94,67	92,53	99,30	96,88	104,65
82,73	87,58	94,16	91,63	98,68	96,30	104,03
84,12	87,02	93,74	90,72	98,17	95,69	103,56

Tabela 5.19 - Dados Thermoscan Peal

Altura [mm]	Pearl					
	-5%		Standard		5%	
	Exterior Cº	Interior Cº	Exterior Cº	Interior Cº	Exterior Cº	Interior Cº
0	57,98	84,02	59,99	87,14	61,43	89,50
1,78	58,21	84,26	60,10	87,28	61,60	89,74
3,17	60,70	86,32	62,60	89,30	64,71	91,92
4,75	66,44	89,84	68,14	92,84	70,30	95,35
6,14	72,66	93,79	74,63	97,17	76,71	99,76
7,72	78,10	97,62	80,71	101,27	83,64	103,78
9,1	83,34	101,04	85,95	104,87	88,57	107,15
10,69	87,33	103,89	90,29	108,03	92,72	110,35
12,27	90,45	106,21	93,83	110,55	96,72	112,80
13,66	93,34	108,05	96,71	112,51	99,40	114,66
15,24	95,52	109,44	99,06	114,11	101,64	116,29
16,63	97,22	110,43	101,01	115,24	103,76	117,40
18,21	98,71	111,08	102,61	116,01	105,19	118,11
19,59	99,78	111,46	103,88	116,51	106,33	118,59
21,18	100,52	111,64	104,83	116,78	107,31	118,81
22,76	101,07	111,71	105,51	116,89	107,85	118,88
24,15	101,37	111,68	105,94	116,92	108,23	118,87
25,73	101,51	111,64	106,22	116,91	108,48	118,82
27,12	101,59	111,58	106,39	116,88	108,60	118,76
28,7	101,62	111,51	106,51	116,83	108,68	118,69
30,28	101,64	111,44	106,60	116,76	108,74	118,61
31,67	101,63	111,33	106,67	116,67	108,77	118,51
33,25	101,63	111,21	106,74	116,54	108,79	118,37
34,64	101,62	111,04	106,79	116,37	108,78	118,18
36,22	101,57	110,83	106,80	116,16	108,74	117,96
37,6	101,49	110,57	106,79	115,87	108,70	117,66
39,19	101,38	110,23	106,72	115,53	108,59	117,31
40,77	101,20	109,85	106,61	115,14	108,45	116,94
42,16	100,96	109,45	106,42	114,72	108,25	116,51
43,74	100,71	109,08	106,18	114,32	107,94	116,13
45,13	100,38	108,71	105,89	113,95	107,65	115,80
46,71	100,04	108,38	105,59	113,60	107,36	115,47
48,09	99,75	108,09	105,29	113,31	107,02	115,22
49,68	99,45	107,85	105,00	113,08	106,78	115,01
51,26	99,18	107,65	104,76	112,88	106,55	114,84
52,65	98,97	107,48	104,54	112,72	106,33	114,70
54,23	98,78	107,34	104,36	112,61	106,18	114,61
55,62	98,64	107,23	104,22	112,51	106,10	114,52
57,2	98,54	107,13	104,13	112,44	106,05	114,45
58,78	98,46	107,03	104,07	112,37	106,01	114,37
60,17	98,37	106,92	104,03	112,30	106,00	114,29
61,75	98,27	106,78	103,99	112,22	105,98	114,21
63,14	98,06	106,63	103,95	112,14	105,95	114,13
64,72	97,74	106,49	103,88	112,05	105,91	114,03
66,11	97,37	106,34	103,78	111,94	105,83	113,93
67,69	96,85	106,20	103,62	111,82	105,73	113,81
69,27	96,35	106,06	103,38	111,70	105,61	113,67
70,66	95,86	105,95	103,02	111,60	105,43	113,52
72,24	95,34	105,87	102,61	111,51	105,20	113,40
73,63	94,94	105,81	102,20	111,44	104,88	113,27
75,21	94,62	105,77	101,80	111,40	104,44	113,18
76,6	94,29	105,72	101,43	111,35	104,05	113,08
78,18	94,08	105,65	101,07	111,28	103,66	112,93
79,76	93,92	105,53	100,76	111,16	103,23	112,74
81,15	93,74	105,35	100,45	110,97	102,85	112,51
82,73	93,55	105,08	100,09	110,64	102,45	112,09

Tabela 5.20 - Dados Thermoscan Clear

Altura [mm]	Clear					
	-5%		Standard		5%	
	Exterior Cº	Interior Cº	Exterior Cº	Interior Cº	Exterior Cº	Interior Cº
0	-	-	-	-	-	-
1,78	-	-	-	-	-	-
3,17	-	-	-	-	-	-
4,75	-	-	-	-	-	-
6,14	-	-	-	-	-	-
7,72	86,73	99,98	88,86	102,84	93,83	107,50
9,1	86,82	100,00	88,99	102,92	93,93	107,59
10,69	87,47	100,58	89,76	103,68	94,72	108,31
12,27	89,01	101,61	91,25	104,85	96,17	109,55
13,66	90,54	102,73	92,91	106,10	97,92	110,92
15,24	92,06	103,77	94,59	107,29	99,64	112,00
16,63	93,60	104,60	96,20	108,20	101,19	112,90
18,21	94,63	105,20	97,52	108,86	102,51	113,54
19,59	95,45	105,56	98,58	109,32	103,54	113,87
21,18	96,12	105,72	99,43	109,56	104,30	114,03
22,76	96,48	105,72	99,98	109,68	104,79	114,04
24,15	96,68	105,65	100,34	109,75	105,09	114,00
25,73	96,77	105,57	100,58	109,81	105,24	113,95
27,12	96,72	105,47	100,70	109,87	105,28	113,92
28,7	96,66	105,39	100,78	109,93	105,28	113,91
30,28	96,57	105,35	100,86	110,00	105,28	113,91
31,67	96,54	105,27	100,96	110,02	105,30	113,88
33,25	96,54	105,19	101,07	110,00	105,35	113,82
34,64	96,55	105,10	101,17	109,92	105,40	113,74
36,22	96,56	104,97	101,24	109,79	105,43	113,59
37,6	96,57	104,77	101,27	109,56	105,44	113,40
39,19	96,54	104,51	101,25	109,27	105,41	113,13
40,77	96,46	104,19	101,16	108,94	105,32	112,76
42,16	96,34	103,83	101,02	108,55	105,17	112,42
43,74	96,14	103,49	100,79	108,19	104,95	112,04
45,13	95,92	103,16	100,53	107,85	104,68	111,68
46,71	95,68	102,84	100,23	107,53	104,39	111,40
48,09	95,38	102,57	99,90	107,26	104,09	111,13
49,68	95,14	102,30	99,57	107,04	103,82	110,89
51,26	94,92	102,06	99,28	106,83	103,56	110,71
52,65	94,67	101,84	99,03	106,66	103,32	110,52
54,23	94,48	101,64	98,84	106,49	103,10	110,34
55,62	94,29	101,44	98,71	106,33	102,89	110,19
57,2	94,00	101,24	98,59	106,16	102,73	110,02
58,78	93,72	101,04	98,47	106,00	102,58	109,86
60,17	93,43	100,84	98,29	105,81	102,43	109,70
61,75	93,05	100,64	98,07	105,64	102,25	109,51
63,14	92,72	100,43	97,80	105,46	101,98	109,33
64,72	92,33	100,22	97,47	105,27	101,59	109,16
66,11	91,78	100,01	97,08	105,08	101,15	108,98
67,69	91,30	99,79	96,66	104,89	100,68	108,78
69,27	90,83	99,58	96,18	104,69	100,16	108,60
70,66	90,30	99,38	95,62	104,52	99,61	108,41
72,24	89,91	99,22	95,10	104,37	99,08	108,24
73,63	89,57	99,08	94,61	104,25	98,56	108,11
75,21	89,23	98,97	94,11	104,16	98,07	107,99
76,6	89,04	98,87	93,73	104,07	97,68	107,87
78,18	88,93	98,77	93,41	103,99	97,36	107,74
79,76	88,89	98,65	93,10	103,88	97,06	107,57
81,15	88,94	98,48	92,89	103,73	96,83	107,31
82,73	89,01	98,19	92,70	103,48	96,59	106,96

Tabela 5.21 - Dados Thermoscan Luso Lab

	Luso Lab					
	-5%		Standard		5%	
Altura [mr]	Exterior Cº	Interior Cº	Exterior Cº	Interior Cº	Exterior Cº	Interior Cº
0	62,21	83,64	64,20	86,85	65,82	88,99
1,78	62,28	83,67	64,48	87,06	66,05	89,19
3,17	63,86	84,75	66,94	88,35	68,38	90,28
4,75	67,67	86,30	71,95	89,65	73,12	91,71
6,14	72,85	87,55	77,49	90,84	79,12	93,06
7,72	78,13	88,64	81,78	91,89	83,48	94,01
9,1	81,19	89,41	84,79	92,51	86,36	94,73
10,69	83,29	89,91	86,79	92,97	88,55	95,27
12,27	84,97	90,34	88,13	93,49	89,94	95,71
13,66	85,88	90,77	89,01	93,95	90,88	96,19
15,24	86,49	91,16	89,54	94,40	91,55	96,69
16,63	86,92	91,59	89,81	94,93	91,84	97,14
18,21	87,10	92,05	90,00	95,39	91,97	97,63
19,59	87,20	92,47	90,21	95,84	92,15	98,17
21,18	87,35	92,96	90,47	96,41	92,41	98,68
22,76	87,56	93,47	90,80	96,88	92,78	99,24
24,15	87,89	93,92	91,18	97,35	93,27	99,82
25,73	88,33	94,39	91,60	97,89	93,79	100,33
27,12	88,75	94,86	92,06	98,31	94,32	100,86
28,7	89,20	95,23	92,52	98,71	94,94	101,35
30,28	89,70	95,57	92,99	99,14	95,52	101,74
31,67	90,09	95,86	93,44	99,45	96,02	102,07
33,25	90,42	96,03	93,86	99,68	96,49	102,28
34,64	90,70	96,11	94,24	99,81	96,76	102,32
36,22	90,78	96,02	94,56	99,78	96,78	102,24
37,6	90,73	95,84	94,72	99,58	96,45	102,00
39,19	90,49	95,55	94,65	99,22	95,93	101,71
40,77	90,20	95,16	94,26	98,85	95,31	101,36
42,16	89,84	94,80	93,58	98,46	94,55	100,98
43,74	89,37	94,41	92,74	98,03	93,84	100,68
45,13	88,94	94,04	91,88	97,73	93,24	100,40
46,71	88,50	93,75	91,12	97,47	92,69	100,14
48,09	87,96	93,47	90,49	97,18	92,27	99,94
49,68	87,53	93,19	89,94	96,95	92,05	99,70
51,26	87,18	92,94	89,55	96,69	91,96	99,43
52,65	86,80	92,62	89,24	96,33	91,92	99,14
54,23	86,52	92,26	89,03	95,95	91,92	98,78
55,62	86,22	91,86	88,94	95,41	91,89	98,25
57,2	85,82	91,32	88,78	94,54	91,81	97,57
58,78	85,49	90,67	88,46	93,88	91,70	96,90

Tabela 5.22 - Dados Thermoscan Luso Fab

	Luso Fab	
	Standard	
Altura [mm]	Exterior Cº	Interior Cº
0	54,23	100,25
1,78	54,50	100,32
3,17	56,91	100,83
4,75	61,98	101,68
6,14	68,57	102,80
7,72	74,50	103,92
9,1	79,97	104,94
10,69	85,16	105,87
12,27	89,00	106,61
13,66	91,96	107,21
15,24	94,21	107,72
16,63	95,56	108,06
18,21	96,49	108,26
19,59	97,27	108,35
21,18	97,89	108,35
22,76	98,43	108,27
24,15	98,93	108,12
25,73	99,29	107,92
27,12	99,58	107,68
28,7	99,76	107,39
30,28	99,86	107,05
31,67	99,93	106,68
33,25	100,00	106,21
34,64	100,03	105,73
36,22	100,05	105,24
37,6	100,06	104,71
39,19	100,02	104,20
40,77	99,93	103,70
42,16	99,70	103,18
43,74	99,37	102,67
45,13	98,98	102,19
46,71	98,49	101,70
48,09	98,05	101,22
49,68	97,63	100,76

Tabela 5.23 - Dados Thermoscan Dion

	Dion			
	-5%		Standard	
Altura [mm]	Exterior Cº	Interior Cº	Exterior Cº	Interior Cº
0	89,80	89,04	92,00	90,77
1,78	89,87	89,07	92,04	90,79
3,17	89,98	89,12	92,19	90,85
4,75	90,24	89,17	92,53	90,92
6,14	90,71	89,22	93,10	90,96
7,72	91,45	89,24	93,78	90,99
9,1	92,12	89,27	94,45	91,02
10,69	92,73	89,28	95,03	91,05
12,27	93,32	89,32	95,51	91,13
13,66	93,71	89,40	95,90	91,24
15,24	94,02	89,53	96,21	91,39
16,63	94,27	89,70	96,43	91,59
18,21	94,41	89,91	96,59	91,81
19,79	94,54	90,15	96,73	92,09
21,18	94,66	90,42	96,86	92,41
22,76	94,80	90,67	97,03	92,69
24,15	94,97	90,90	97,24	92,93
25,73	95,24	91,06	97,51	93,11
27,12	95,54	91,16	97,86	93,22
28,7	95,91	91,17	98,27	93,26
30,28	96,39	91,15	98,72	93,25
31,67	96,83	91,11	99,20	93,22
33,25	97,27	91,04	99,66	93,18
34,64	97,72	90,97	100,07	93,12
36,22	98,02	90,91	100,38	93,08
37,6	98,23	90,85	100,57	93,04
39,19	98,36	90,80	100,67	93,00
40,77	98,38	90,76	100,69	92,99
42,16	98,36	90,74	100,67	93,00
43,74	98,29	90,74	100,63	93,03
45,13	98,25	90,76	100,59	93,06
46,71	98,21	90,78	100,56	93,09
48,09	98,18	90,77	100,56	93,09
49,68	98,17	90,72	100,58	93,05
51,26	98,20	90,63	100,62	92,98
52,65	98,26	90,50	100,71	92,87
54,23	98,35	90,36	100,83	92,76
55,62	98,47	90,24	100,97	92,66
57,2	98,59	90,13	101,09	92,59
58,78	98,65	90,06	101,17	92,55
60,17	98,68	90,02	101,18	92,54
61,75	98,62	90,00	101,14	92,56
63,14	98,51	90,00	101,05	92,58
64,72	98,39	90,00	100,94	92,62
66,11	98,24	90,01	100,86	92,64
67,69	98,15	90,02	100,81	92,65
69,27	98,11	90,01	100,80	92,65
70,66	98,11	89,99	100,84	92,63
72,24	98,15	89,95	100,92	92,60
73,63	98,19	89,92	101,00	92,58
75,21	98,25	89,88	101,10	92,58
76,6	98,31	89,89	101,18	92,61
78,18	98,35	89,91	101,23	92,67
79,76	98,37	89,95	101,24	92,76
81,15	98,35	90,02	101,23	92,86
82,73	98,33	90,10	101,20	92,97
84,12	98,29	90,18	101,17	93,10
85,7	98,25	90,28	101,14	93,22
87,28	98,24	90,32	101,12	93,26
88,67	98,25	90,23	101,13	93,15
90,25	98,27	89,98	101,14	92,89
91,64	98,25	89,58	101,12	92,51
93,22	98,08	89,11	101,02	92,04
94,61	97,77	88,65	100,85	91,63
96,19	97,31	88,24	100,53	91,26
97,77	96,62	87,90	100,02	90,94
99,16	95,95	87,61	99,32	90,67
100,74	95,23	87,35	98,44	90,42
102,13	94,27	87,15	97,44	90,18

Tabela 5.24 - Dados Thermoscan Água do Porto

Altura [m]	Águas do Porto					
	-5%		Standard		5%	
	Exterior Cº	Interior Cº	Exterior Cº	Interior Cº	Exterior Cº	Interior Cº
0	67,12	100,45	65,13	103,94	71,90	112,36
1,78	67,37	100,50	65,44	104,04	72,08	112,41
3,17	69,83	100,86	68,06	104,65	74,95	112,92
4,75	74,12	101,44	73,09	105,46	79,83	113,65
6,14	79,34	101,94	78,83	106,29	85,39	114,32
7,72	83,84	102,32	84,18	106,95	91,51	114,94
9,1	87,54	102,65	88,84	107,45	95,98	115,41
10,69	90,92	102,87	92,74	107,86	99,76	115,75
12,27	93,32	103,04	95,79	108,16	103,20	116,04
13,66	94,96	103,19	98,04	108,37	105,26	116,25
15,24	96,20	103,30	99,63	108,55	106,75	116,39
16,63	96,91	103,40	100,69	108,66	107,90	116,53
18,21	97,29	103,50	101,37	108,75	108,52	116,61
19,79	97,54	103,57	101,81	108,81	109,00	116,68
21,18	97,70	103,63	102,11	108,85	109,45	116,73
22,76	97,84	103,70	102,35	108,88	109,75	116,77
24,15	97,99	103,74	102,55	108,92	110,02	116,79
25,73	98,12	103,76	102,72	108,92	110,30	116,79
27,12	98,25	103,73	102,88	108,88	110,52	116,74
28,7	98,38	103,66	103,01	108,80	110,73	116,66
30,28	98,50	103,56	103,14	108,69	110,93	116,54
31,67	98,61	103,41	103,25	108,55	111,08	116,37
33,25	98,71	103,25	103,34	108,37	111,21	116,20
34,64	98,74	103,10	103,40	108,19	111,31	115,99
36,22	98,78	102,97	103,42	108,03	111,36	115,83
37,6	98,80	102,85	103,40	107,89	111,38	115,70
39,19	98,74	102,79	103,35	107,79	111,34	115,59
40,77	98,67	102,76	103,25	107,72	111,26	115,52
42,16	98,53	102,73	103,10	107,66	111,16	115,46
43,74	98,35	102,74	102,92	107,63	110,96	115,43
45,13	98,19	102,80	102,73	107,66	110,80	115,46
46,71	98,03	102,91	102,56	107,73	110,62	115,54
48,09	97,89	103,04	102,40	107,84	110,42	115,67
49,68	97,81	103,20	102,28	107,97	110,26	115,83
51,26	97,72	103,37	102,16	108,12	110,09	116,01
52,65	97,70	103,56	102,07	108,30	109,84	116,25
54,23	97,69	103,78	101,96	108,50	109,59	116,52
55,62	97,71	104,01	101,84	108,74	109,30	116,78
57,2	97,75	104,21	101,69	108,97	108,90	117,08
58,78	97,79	104,43	101,51	109,18	108,53	117,34
60,17	97,83	104,64	101,34	109,40	108,09	117,59
61,75	97,84	104,83	101,17	109,61	107,49	117,86
63,14	97,78	105,07	101,00	109,82	107,00	118,12
64,72	97,56	105,30	100,86	110,05	106,57	118,39
66,11	97,25	105,52	100,74	110,27	106,12	118,67
67,69	96,87	105,67	100,62	110,40	105,81	118,76
69,27	96,46	105,53	100,52	110,26	105,56	118,51
70,66	96,18	105,09	100,42	109,80	105,30	117,91
72,24	95,97	104,49	100,33	109,16	106,32	118,10

Tabela 5.25 - Dados Thermoscan Água de Coimbra

	Águas de Coimbra					
	-5%		Standard		5%	
Altura [mm]	Exterior Cº	Interior Cº	Exterior Cº	Interior Cº	Exterior Cº	Interior Cº
0,00	55,68	94,90	56,91	101,19	52,32	99,48
1,78	55,82	94,96	57,03	101,31	52,49	99,63
3,17	57,05	95,85	58,62	102,19	54,71	100,86
4,75	60,10	97,37	62,16	103,63	58,80	103,12
6,14	65,30	98,96	66,98	105,12	64,38	105,26
7,72	70,20	100,35	72,22	106,43	70,87	107,25
9,10	74,18	101,46	77,11	107,52	76,49	109,07
10,69	78,37	102,30	81,29	108,38	81,58	110,24
12,27	82,37	102,94	85,00	109,04	86,35	111,16
13,66	86,03	103,42	88,23	109,52	90,58	111,89
15,24	89,50	103,76	90,82	109,86	94,95	112,32
16,63	91,91	104,00	92,87	110,09	98,66	112,62
18,21	93,54	104,17	94,42	110,24	101,12	112,84
19,79	94,76	104,30	95,50	110,34	102,97	112,95
21,18	95,43	104,41	96,25	110,41	104,22	113,02
22,76	95,85	104,51	96,80	110,45	104,92	113,06
24,15	96,18	104,58	97,19	110,48	105,38	113,08
25,73	96,39	104,66	97,48	110,51	105,67	113,07
27,12	96,56	104,73	97,70	110,51	105,81	113,04
28,70	96,70	104,74	97,87	110,48	105,89	113,02
30,28	96,82	104,73	98,00	110,41	105,93	112,95
31,67	96,94	104,67	98,10	110,30	105,97	112,86
33,25	97,06	104,57	98,19	110,15	105,98	112,74
34,64	97,16	104,42	98,25	109,97	105,96	112,59
36,22	97,25	104,24	98,29	109,77	105,94	112,42
37,60	97,32	104,06	98,30	109,58	105,89	112,26
39,19	97,34	103,88	98,30	109,40	105,84	112,08
40,77	97,34	103,72	98,27	109,24	105,77	111,90
42,16	97,28	103,60	98,21	109,08	105,67	111,74
43,74	97,17	103,45	98,10	108,91	105,52	111,60
45,13	97,03	103,33	97,96	108,77	105,37	111,49
46,71	96,82	103,24	97,80	108,67	105,21	111,39
48,09	96,61	103,19	97,63	108,61	105,00	111,32
49,68	96,44	103,20	97,45	108,60	104,82	111,25
51,26	96,26	103,21	97,28	108,56	104,66	111,22
52,65	96,12	103,22	97,13	108,54	104,49	111,22
54,23	95,99	103,23	96,97	108,53	104,37	111,23
55,62	95,88	103,26	96,82	108,52	104,26	111,22
57,20	95,78	103,29	96,67	108,51	104,13	111,21
58,78	95,71	103,31	96,50	108,48	104,03	111,18
60,17	95,63	103,31	96,33	108,43	103,92	111,11
61,75	95,58	103,28	96,13	108,36	103,79	111,00
63,14	95,55	103,23	95,92	108,27	103,73	110,86
64,72	95,51	103,16	95,71	108,16	103,66	110,71
66,11	95,49	103,06	95,50	108,05	103,56	110,54
67,69	95,46	102,93	95,27	107,89	103,43	110,35
69,27	95,42	102,76	95,04	107,67	103,23	110,14
70,66	95,34	102,54	94,79	107,40	102,95	109,88
72,24	95,25	102,24	94,52	107,04	102,60	109,57
73,63	95,10	101,89	94,25	106,63	102,17	109,27
75,21	94,95	101,49	93,98	106,19	101,74	108,87
76,60	94,79	101,04	93,72	105,67	101,40	108,38
78,18	94,57	100,52	93,46	105,08	101,08	107,85
79,76	94,34	99,89	93,19	104,33	100,83	107,11
81,15	94,11	99,06	92,87	103,28	100,66	106,29
82,73	93,79	97,91	92,55	102,20	100,55	105,54

5.6. Espessuras medidas

Tabela 5.26 - Espessuras da garrafa White

H	White					
	-5%		Standard		5%	
	Espessura (mm)		Espessura (mm)		Espessura (mm)	
	Teorico	Real	Teorico	Real	Teorico	Real
0	0,4750	0,4434	0,4750	0,3839	0,4750	0,4026
12,5	0,4858	0,3444	0,4858	0,3369	0,4858	0,3526
28,5	0,5494	0,4780	0,5494	0,5303	0,5494	0,5804
46	0,5609	0,4436	0,5609	0,4562	0,5609	0,4872
69	0,5773	0,4044	0,5773	0,4024	0,5773	0,4084
92	0,5987	0,3368	0,5987	0,3111	0,5987	0,2928
115	0,6634	0,4716	0,6634	0,5164	0,6634	0,5736
138	0,5417	0,3634	0,5417	0,3475	0,5417	0,3300
159	0,5285	0,8600	0,5285	0,8959	0,5285	0,9566
Media	0,5534	0,4606	0,5534	0,4645	0,5534	0,4871
Min	0,4750	0,3368	0,4750	0,3111	0,4750	0,2928
Max	0,6634	0,8600	0,6634	0,8959	0,6634	0,9566

Tabela 5.27 - Espessuras da garrafa Pearl

H	Pearl					
	-5%		Standard		5%	
	Espessura (mm)		Espessura (mm)		Espessura (mm)	
	Teorico	Real	Teorico	Real	Teorico	Real
0	0,4750	0,5872	0,4750	0,4300	0,4750	0,5290
12,5	0,4858	0,4238	0,4858	0,3352	0,4858	0,3963
28,5	0,5494	0,4730	0,5494	0,5129	0,5494	0,4833
46	0,5609	0,4444	0,5609	0,4898	0,5609	0,4538
69	0,5773	0,3686	0,5773	0,4284	0,5773	0,3710
92	0,5987	0,3076	0,5987	0,3587	0,5987	0,3350
115	0,6634	0,3648	0,6634	0,4712	0,6634	0,4798
138	0,5417	0,3484	0,5417	0,4148	0,5417	0,4425
159	0,5285	0,9366	0,5285	1,0795	0,5285	0,9668
Media	0,5534	0,4727	0,5534	0,5023	0,5534	0,4953
Min	0,4750	0,3076	0,4750	0,3352	0,4750	0,3350
Max	0,6634	0,9366	0,6634	1,0795	0,6634	0,9668

Tabela 5.28 - Espessuras da garrafa Clear

H	Clear					
	-5%		Standard		5%	
	Espessura (mm)		Espessura (mm)		Espessura (mm)	
	Teorico	Real	Teorico	Real	Teorico	Real
0	0,4750	0,3760	0,4750	0,3890	0,4750	0,4036
12,5	0,4858	0,3218	0,4858	0,3440	0,4858	0,3190
28,5	0,5494	0,4032	0,5494	0,4994	0,5494	0,5340
46	0,5609	0,4696	0,5609	0,5209	0,5609	0,5926
69	0,5773	0,4942	0,5773	0,5258	0,5773	0,5950
92	0,5987	0,5040	0,5987	0,4828	0,5987	0,5378
115	0,6634	0,5864	0,6634	0,6448	0,6634	0,5254
138	0,5417	0,4160	0,5417	0,5927	0,5417	0,5340
159	0,5285	1,1278	0,5285	1,0599	0,5285	1,0164
Media	0,5534	0,5221	0,5534	0,5621	0,5534	0,5620
Min	0,4750	0,3218	0,4750	0,3440	0,4750	0,3190
Max	0,6634	1,1278	0,6634	1,0599	0,6634	1,0164

Tabela 5.29 - Espessuras da garrafa Luso Lab

H	Luso Lab					
	-5%		Standard		5%	
	Espessura (mm)		Espessura (mm)		Espessura (mm)	
	Teorico	Real	Teorico	Real	Teorico	Real
0	0,2431	0,2240	0,2431	0,2096	0,2431	0,2096
8,25	0,2522	0,2352	0,2522	0,2326	0,2522	0,2048
36,3	0,2571	0,2308	0,2571	0,2638	0,2571	0,2622
61,6	0,2716	0,2538	0,2716	0,2804	0,2716	0,3664
87,9	0,2688	0,2430	0,2688	0,2600	0,2688	0,3056
110,3	0,2619	0,2292	0,2619	0,2204	0,2619	0,2086
138	0,2657	0,3248	0,2657	0,2972	0,2657	0,3288
162,5	0,6958	0,6696	0,6958	0,5962	0,6958	0,7498
Media	0,3145	0,3013	0,3145	0,2950	0,3145	0,3295
Min	0,2431	0,2240	0,2431	0,2096	0,2431	0,2048
Max	0,6958	0,6696	0,6958	0,5962	0,6958	0,7498

Tabela 5.30 - Espessura da garrafa Luso Lab

H	Luso Fab	
	Standard	
	Espessura (mm)	
	Teorico	Real
0	0,2431	0,2628
8,25	0,2522	0,2823
36,3	0,2571	0,2857
61,6	0,2716	0,2772
87,9	0,2688	0,4103
110,3	0,2619	0,2860
138	0,2657	0,2542
162,5	0,6958	0,5175
Média	0,3145	0,3220
Mínimo	0,2431	0,2542
Máximo	0,6958	0,5175

Tabela 5.31 - Espessuras da garrafa Dion 2L Face 1

H	Dion Face 1			
	-5%		Standard	
	Espessura (mm)		Espessura (mm)	
	Teorico	Real	Teorico	Real
0	0,2874	0,4197	0,2874	0,3654
35,3	0,3922	0,5477	0,3922	0,4915
70,6	0,4152	0,5813	0,4152	0,5263
105,9	0,4188	0,5120	0,4188	0,5551
141,2	0,4227	0,5553	0,4227	0,5893
176,5	0,4263	0,5350	0,4263	0,5235
211,8	0,4298	0,7323	0,4298	0,9061
247,1	0,3707	0,5523	0,3707	0,5799
270	0,3573	0,3733	0,3573	0,3663
Media	0,2874	0,3733	0,2874	0,3654
Min	0,4298	0,7323	0,4298	0,9061

Tabela 5.32 - Espessuras da garrafa Dion 2L Face 2

H	Dion Face 2			
	-5%		Tmedio	
	Espessura (mm)		Espessura (mm)	
	Teorico	Real	Teorico	Real
0	0,2809	0,3580	0,2809	0,3403
35,3	0,3587	0,4687	0,3587	0,4355
70,6	0,3873	0,4783	0,3873	0,4551
123,6	0,6014	0,5750	0,6014	0,7374
158,7	0,6070	0,7380	0,6070	0,9033
211,8	0,4009	0,6507	0,4009	0,8100
247,1	0,3449	0,5310	0,3449	0,5243
270	0,3226	0,3410	0,3226	0,3585
Media	0,4130	0,5176	0,4130	0,5706
Min	0,2809	0,3410	0,2809	0,3403
Max	0,6070	0,7380	0,6070	0,9033

Tabela 5.33 - Espessuras da garrafa Água do Porto

H	Águas do Porto					
	-5%		Tmedio		5%	
	Espessura (mm)		Espessura (mm)		Espessura (mm)	
	Teorico	Real	Teorico	Real	Teorico	Real
0	0,3965	0,6753	0,3965	0,6045	0,3965	0,5553
16,6	0,3766	0,5347	0,3766	0,5087	0,3766	0,4177
33,2	0,3549	0,4733	0,3549	0,4485	0,3549	0,4170
49,8	0,3480	0,4090	0,3480	0,4047	0,3480	0,3917
66,4	0,3566	0,3383	0,3566	0,3350	0,3566	0,3087
83	0,3863	0,3663	0,3863	0,3435	0,3863	0,3173
94,6	0,4117	0,4040	0,4117	0,3949	0,4117	0,3940
116,2	0,4796	0,4753	0,4796	0,5991	0,4796	0,7000
132,8	1,0263	1,0893	1,0263	1,1042	1,0263	1,0580
Media	0,4596	0,5295	0,4596	0,5270	0,4596	0,5066
Min	0,3480	0,3383	0,3480	0,3350	0,3480	0,3087
Max	1,0263	1,0893	1,0263	1,1042	1,0263	1,0580

Tabela 5.34 - Espessuras da garrafa Água de Coimbra

	Águas de Coimbra					
	-5%		Tmedio		5%	
	Espessura		Espessura		Espessura	
	Teorico	Real	Teorico	Real	Teorico	Real
H						
0	0,4506	0,2650	0,4506	0,2627	0,4506	0,2587
25	0,4272	0,5133	0,4272	0,5190	0,4272	0,4123
50	0,3782	0,6143	0,3782	0,5827	0,3782	0,5660
75	0,3514	0,3947	0,3514	0,3815	0,3514	0,4003
100	0,3366	0,2580	0,3366	0,2729	0,3366	0,3003
125	0,3287	0,2610	0,3287	0,2563	0,3287	0,2817
150	0,3250	0,2680	0,3250	0,2586	0,3250	0,2967
175	0,3067	0,2570	0,3067	0,2485	0,3067	0,2757
190	0,3410	0,3020	0,3410	0,3049	0,3410	0,3093
Média	0,3606	0,3481	0,3606	0,3430	0,3606	0,3446
Min	0,3067	0,2570	0,3067	0,2485	0,3067	0,2587
Max	0,4506	0,6143	0,4506	0,5827	0,4506	0,5660

5.7. Medições dos valores de K

5.7.1. Garrafas estudadas

Tabela 5.35 - Valores K de White

	White					
	-5%		Tmedio		5%	
H	K					
	Teorico	Real	Teorico	Real	Teorico	Real
0	0,7443	0,7022	0,7443	0,6095	0,7443	0,6294
12,5		0,5276		0,5161		0,5402
28,5		0,6476		0,7185		0,7863
46		0,5887		0,6054		0,6465
69		0,5214		0,5188		0,5266
92		0,4187		0,3868		0,3640
115		0,5291		0,5674		0,6435
138		0,4993		0,4775		0,4534
159		1,2112		1,2618		1,3473
Media	0,7443	0,6273	0,7443	0,6291	0,7443	0,6597
Min		0,4187		0,3868		0,3640
Max		1,2112		1,2618		1,3473

Tabela 5.37 - Valores K de Clear

	Clear					
	-5%		Tmedio		5%	
H	K					
	Teorico	Real	Teorico	Real	Teorico	Real
0	0,7443	0,5892	0,7443	0,6095	0,7443	0,6324
12,5		0,4930		0,5270		0,4887
28,5		0,5462		0,6766		0,7234
46		0,6231		0,6912		0,7864
69		0,6372		0,6779		0,7671
92		0,6266		0,6002		0,6686
115		0,6579		0,7234		0,5895
138		0,5716		0,8143		0,7337
159		1,5883		1,4927		1,4314
Media	0,7443	0,7037	0,7443	0,7570	0,7443	0,7579
Min		0,4930		0,5270		0,4887
Max		1,5883		1,4927		1,4314

Tabela 5.36 - Valores K de Pearl

	Pearl					
	-5%		Tmedio		5%	
H	K					
	Teorico	Real	Teorico	Real	Teorico	Real
0	0,7443	0,9201	0,7443	0,6738	0,7443	0,8289
12,5		0,6493		0,5136		0,6071
28,5		0,6408		0,6948		0,6547
46		0,5897		0,6499		0,6021
69		0,4752		0,5523		0,4783
92		0,3824		0,4460		0,4165
115		0,4093		0,5287		0,5383
138		0,4787		0,5699		0,6080
159		1,3190		1,5203		1,3615
Media	0,7443	0,6516	0,7443	0,6833	0,7443	0,6773
Min		0,3824		0,4460		0,4165
Max		1,3190		1,5203		1,3615

Tabela 5.38 - Valores K de Luso Lab

	Luso Lab					
	-5%		Tmedio		5%	
H	K					
	Teorico	Real	Teorico	Real	Teorico	Real
0	0,8432	0,7770	0,8432	0,7270	0,8432	0,7270
8,25		0,7864		0,7777		0,6847
36,3		0,7569		0,8652		0,8599
61,6		0,7879		0,8705		1,1375
87,9		0,7623		0,8156		0,9586
110,3		0,7379		0,7096		0,6716
138		1,0308		0,9432		1,0434
164,5		0,8114		0,7225		0,9086
Media		0,8063		0,8039		0,8739
Min	0,8432	0,7379	0,8432	0,7096	0,8432	0,6716
Max		1,0308		0,9432		1,1375

Tabela 5.39 - Valores de K de Luso Fab

	Luso Fab	
	Fab	
	K	
H	Teorico	Real
0	0,8432	0,9116
8,25		0,9439
36,3		0,9369
61,6		0,8605
87,9		1,2872
110,3		0,9208
138		0,8066
162,5		0,6271
Média		0,9118
Mínimo	0,8432	0,6271
Máximo		1,2872

Tabela 5.40 - Valores de K de Dion Face 1

	Dion 2L Face 1			
	-5%		Tmedio	
H	K			
	Teorico	Real	Teorico	Real
0	0,8330	1,2164	0,8330	1,0591
35,3		1,1632		1,0440
70,6		1,1663		1,0560
105,9		1,0184		1,1040
141,2		1,0944		1,1614
176,5		1,0454		1,0230
211,8		1,4193		1,7561
247,1		1,2411		1,3032
270		0,8704		0,8539
Media	0,8330	1,1372	0,8330	1,1512
Min		0,8704		0,8539
Max		1,4193		1,7561

Tabela 5.43 - Valores de K de Água de Coimbra

	Águas de Coimbra					
	-5%		Tmedio		5%	
H	K					
	Teorico	Real	Teorico	Real	Teorico	Real
0	0,7890	0,4640	0,7890	0,4600	0,7890	0,4529
25		0,9481		0,9585		0,7615
50		1,2816		1,2157		1,1808
75		0,8861		0,8565		0,8989
100		0,6048		0,6396		0,7040
125		0,6265		0,6153		0,6761
150		0,6506		0,6278		0,7202
175		0,6611		0,6392		0,7092
190		0,6988		0,7055		0,7157
Media		0,7580		0,7465		0,7577
Min	0,7890	0,4640	0,7890	0,4600	0,7890	0,4529
Max		1,2816		1,2157		1,1808

Tabela 5.41 - Valores de K de Dion Face 2

	Dion 2L Face 2			
	-5%		Tmedio	
H	K			
	Teorico	Real	Teorico	Real
0	0,8515	1,0852	0,8515	1,0317
35,3		1,1125		1,0339
70,6		1,0516		1,0006
123,6		0,8141		1,0441
158,7		1,0353		1,2671
211,8		1,3820		1,7204
247,1		1,3109		1,2945
270		0,9001		0,9462
Media	0,8515	1,0865	0,8515	1,1673
Min		0,8141		0,9462
Max		1,3820		1,7204

Tabela 5.42 - Valores de K de Água do Porto

	Águas do Porto					
	-5%		Tmedio		5%	
H	K					
	Teorico	Real	Teorico	Real	Teorico	Real
0	0,7373	1,2558	0,7373	1,1240	0,7373	1,0327
16,6		1,0468		0,9959		0,8177
33,2		0,9833		0,9317		0,8663
49,8		0,8665		0,8575		0,8298
66,4		0,6995		0,6926		0,6382
83		0,6992		0,6555		0,6057
94,6		0,7235		0,7073		0,7056
116,2		0,7307		0,9210		1,0761
132,8		0,7826		0,7933		0,7601
Media				0,8653		
Min	0,7373	0,6992	0,7373	0,6555	0,7373	0,6057
Max		1,2558		1,1240		1,0761

5.7.2. Gráficos de K

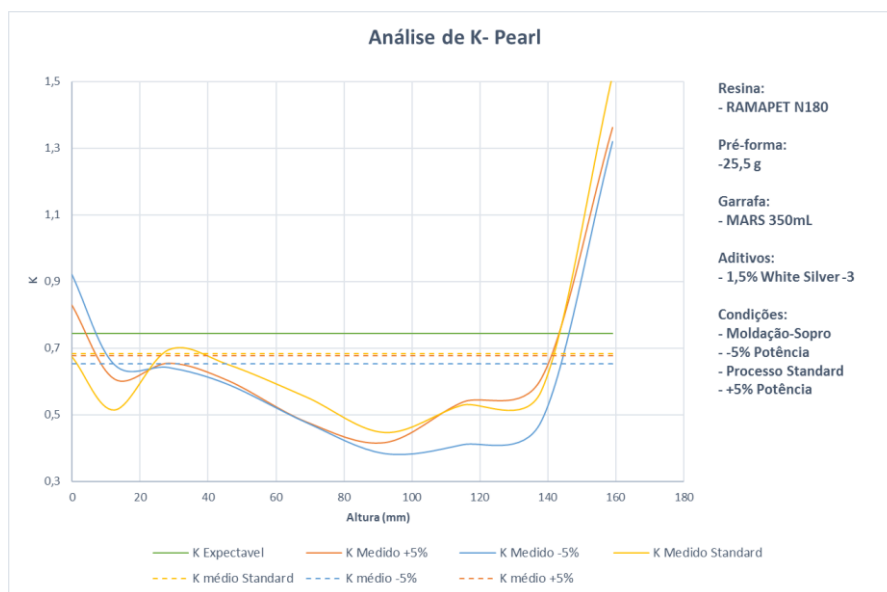


Gráfico 5.1 - Representação de K de Pearl

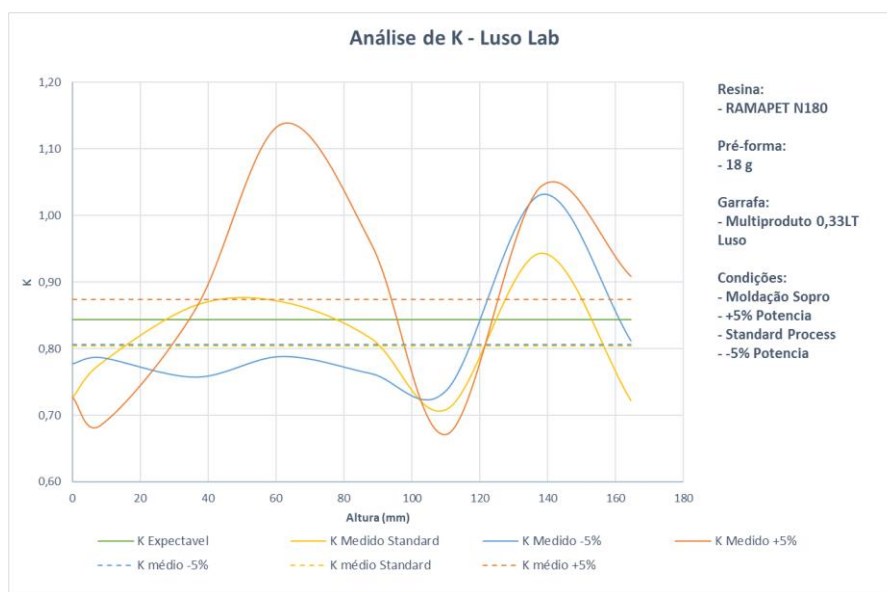


Gráfico 5.2 - Representação de K de Luso Lab

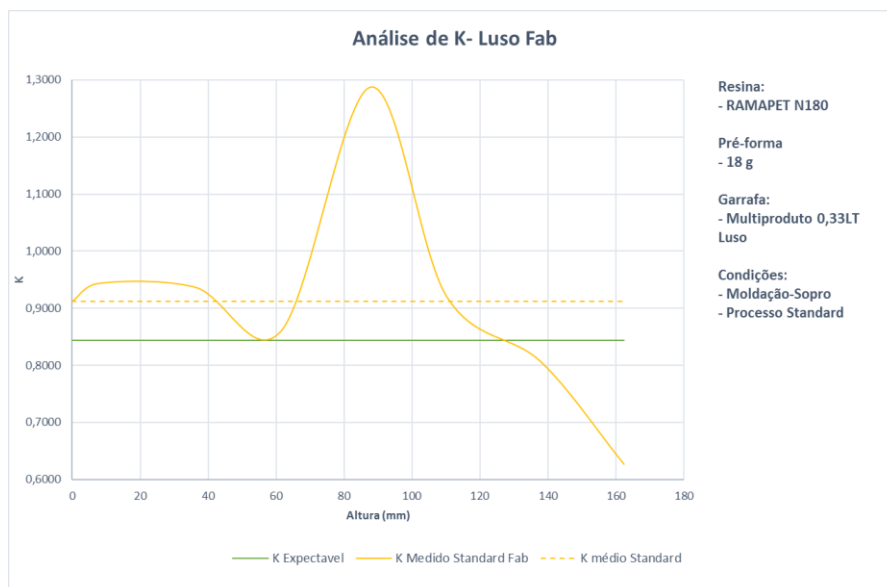


Gráfico 5.3 - Representação de K de Luso Fab

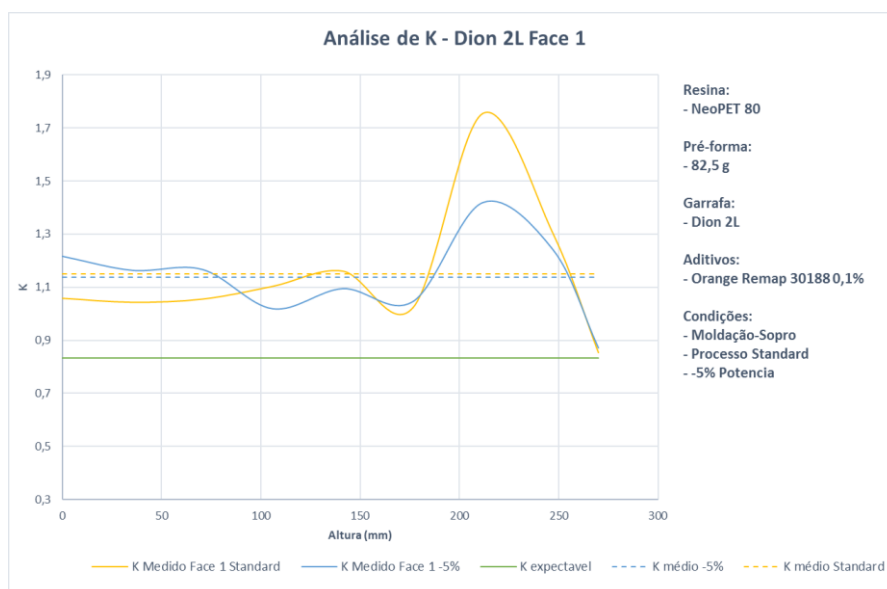


Gráfico 5.4 - Representação de K de Dion Face 1

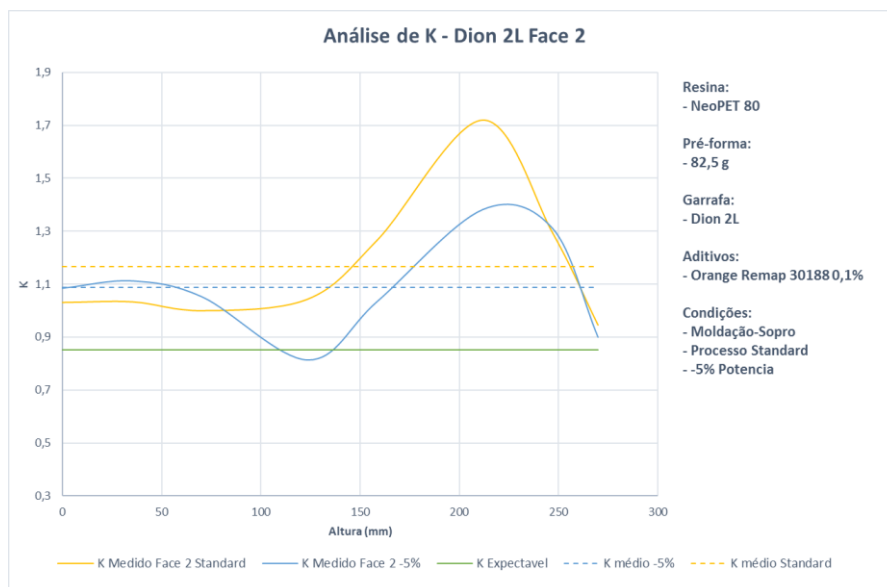


Gráfico 5.5 - Representação de K de Dion Face 2

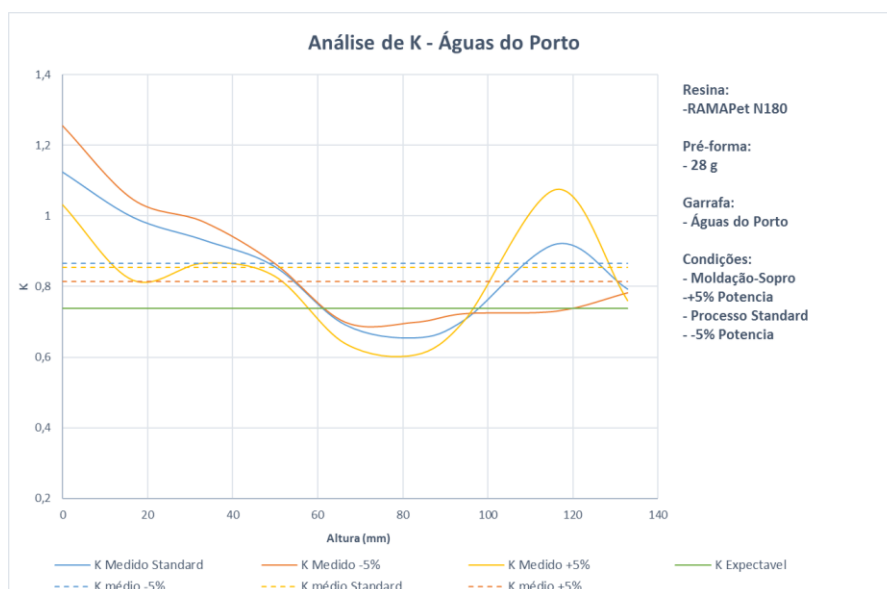


Gráfico 5.6 - Representação de K de Água do Porto

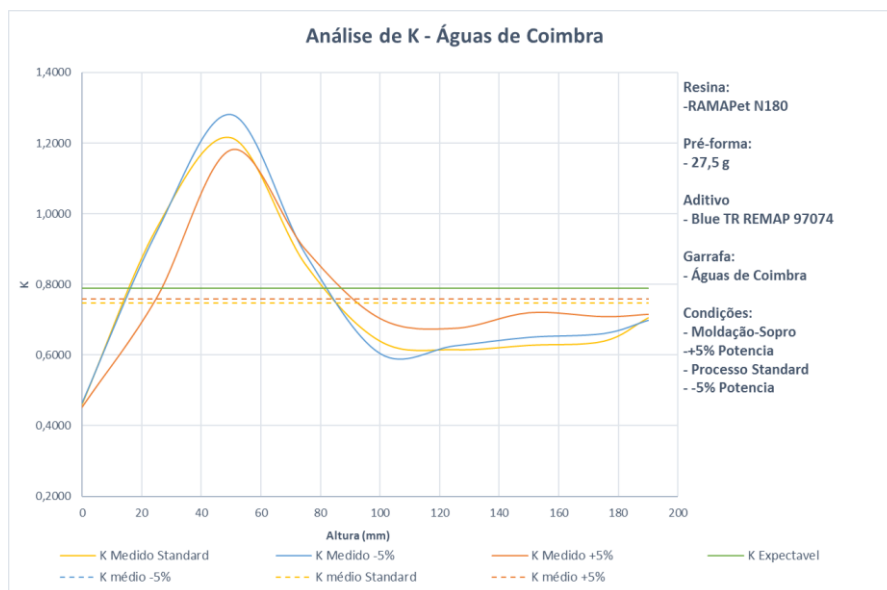


Gráfico 5.7 - Representação de K de Água de Coimbra

5.8. Ks para validação do SBM

5.8.1. Garrafas de Kansas

Tabela 5.44 - Análise de K para MARS 9 oz

9 oz MARS	Espessura Painel Lateral @ 60 (mm)	Espessura @ Base corner (mm)	Espessura Painel Base @ 8mm (mm)	Espessura Corpo @ 60mm (mm)	Espessura Ombro @ 123mm (mm)	Espessura mínima (mm)
Espessura Medida	0,3510	0,3290	0,4100	0,3730	0,3830	0,3200
Espessura Software	0,2790	0,3092	0,4623	0,5485	0,4299	0,2777
K Calculado	0,9792	0,8283	0,6745	0,5173	0,6936	0,8972
K Software	0,7784	0,7784	0,7607	0,7607	0,7784	0,7784

Tabela 5.45 - Análise de K para MARS 12,6 oz

12.6 oz MARS	Espessura Painel Lateral @ 78 (mm)	Espessura canto da Base (mm)	Espessura @ 10mm Painel Base (mm)	Espessura Corpo @ 78mm (mm)	Espessura Ombro @ 132mm (mm)	Espessura Mínima (mm)
Espessura Medida	0,3330	0,3860	0,3870	0,3320	0,3090	0,3090
Espessura Software	0,2832	0,2967	0,3798	0,4520	0,2644	0,2515
K Calculado	0,9583	1,0605	0,8137	0,5866	0,9524	1,0110
K Software	0,8151	0,8151	0,7985	0,7985	0,8151	0,8228

Tabela 5.46 - Análise de K para MARS 14 oz

14 oz MARS	Espessura Painel Lateral @ 70 (mm)	Espessura canto da Base (mm)	Espessura @ 10mm Painel Base (mm)	Espessura Corpo @ 70mm (mm)	Espessura Ombro @ 157mm (mm)	Espessura Mínima (mm)
Espessura Medida	0,3810	0,3980	0,2940	0,2980	0,4830	0,2920
Espessura Software	0,2856	0,3150	0,3993	0,4514	0,3918	0,2842
K Calculado	1,1019	1,0436	0,5990	0,5370	1,0183	0,8507
K Software	0,8260	0,8260	0,8135	0,8135	0,8260	0,8280

Tabela 5.47 - Análise de K para MARS 20 oz

20 oz MARS	Espessura PaineL Lateral @ 75 (mm)	Espessura canto da Base (mm)	Espessura @ 10mm PaineL Base (mm)	Espessura Corpo @ 75mm (mm)	Espessura Ombro @ 155mm (mm)	Espessura Mínima (mm)
Espessura Medida	0,3403	0,5675	0,3583	0,4268	0,4130	0,3319
Espessura Software	0,2736	0,3009	0,5107	0,5792	0,4094	0,2730
K Calculado	0,9913	1,5031	0,5441	0,5715	0,8039	0,9689
K Software	0,7970	0,7970	0,7756	0,7756	0,7970	0,7970

Tabela 5.48 - Análise de K para MARS 20 oz

24 oz MARS	Espessura PaineL Lateral @ 95 (mm)	Espessura canto da Base (mm)	Espessura @ 12,4mm PaineL Base (mm)	Espessura Corpo @ 95mm (mm)	Espessura Ombro @ 198mm (mm)	Espessura Mínima (mm)
Espessura Medida	0,3188	0,3695	0,4474	0,3730	0,4738	0,2934
Espessura Software	0,2698	0,3052	0,5239	0,6026	0,5226	0,2681
K Calculado	0,9566	0,9804	0,6721	0,4871	0,7340	0,8860
K Software	0,8097	0,8097	0,7870	0,7870	0,8097	0,8097

Tabela 5.49 - Análise de K para 25 oz

25 oz MARS	Espessura PaineL Lateral @ 117 (mm)	Espessura canto da Base (mm)	Espessura @ 14mm PaineL Base (mm)	Espessura Corpo @ 117mm (mm)	Espessura Ombro @ 181mm (mm)	Espessura Mínima (mm)
Espessura Medida	0,4080	0,4770	0,4840	0,4710	0,3040	0,3010
Espessura Software	0,3441	0,3425	0,4963	0,5511	0,3125	0,3006
K Calculado	0,9575	1,1248	0,7671	0,6722	0,7857	0,8087
K Software	0,8076	0,8076	0,7866	0,7866	0,8076	0,8076

Tabela 5.50 - Análise de K para 29_30 Meta

29_30 META	Espessura PaineL Lateral @ 86 (mm)	Espessura @ Base corner (mm)	Espessura PaineL Base @ 12mm (mm)	Espessura Corpo@ 86mm (mm)	Espessura Ombro @ 187mm (mm)	Espessura mínima (mm)
Espessura Medida	0,3560	0,3550	0,4190	0,4150	0,3600	0,2880
Espessura Software	0,3051	0,3254	0,3678	0,4336	0,3111	0,2958
K Calculado	0,9516	0,8895	0,9179	0,7712	0,9434	0,7938
K Software	0,8154	0,8154	0,8057	0,8057	0,8154	0,8154

Tabela 5.51 - Análise de K para MARS 38 oz

38 oz MARS	Espessura PaineL Lateral @ 120 (mm)	Espessura @ Base corner (mm)	Espessura PaineL Base @ 15,5mm (mm)	Espessura Corpo@ 120mm (mm)	Espessura Ombro @ 210mm (mm)	Espessura mínima (mm)
Espessura Medida	0,3590	0,4020	0,3890	0,4080	0,4100	0,3220
Espessura Software	0,3171	0,3459	0,4998	0,5632	0,5101	0,2695
K Calculado	0,8952	0,9189	0,6030	0,5613	0,6354	0,9522
K Software	0,7906	0,7906	0,7748	0,7748	0,7906	0,7970

Tabela 5.52 - Análise de K para MARS 44 oz

44 oz MARS	Espessura PaineL Lateral @ 60 (mm)	Espessura canto da Base (mm)	Espessura @ 8mm PaineL Base (mm)	Espessura Corpo @ 60mm (mm)	Espessura Ombro @ 123mm (mm)	Espessura Mínima (mm)
Espessura Medida	0,3280	0,2600	0,4520	0,3470	0,3340	0,2580
Espessura Software	0,2764	0,4459	0,4566	0,4915	0,2717	0,2695
K Calculado	0,9459	0,4542	0,7711	0,5499	0,9796	0,7629
K Software	0,7970	0,7789	0,7789	0,7789	0,7970	0,7970

5.8.2. Garrafas da Holanda

5.8.2.1. 23,3 g

Tabela 5.53 - Análise de K para Fusion Fluid HD RED

Fusion Fluid HD RED	S/S 15 mm	S/S 70 mm	S/S 105 mm	S/S 134 mm	F/B 11 mm	F/B 70 mm	F/B 105 mm	F/B 134 mm
Espessura Medida	0,33	0,41	0,41	0,45	0,37	0,43	0,44	0,40
Espessura Software	0,29	0,31	0,31	0,36	0,39	0,45	0,46	0,41
K Calculado	0,73	0,64	0,63	0,67	0,86	0,85	0,85	0,84
K Software	0,83	0,83	0,83	0,83	0,81	0,81	0,81	0,81

Tabela 5.54 - Análise de K para Fusion Fluid HD Clear

Fusion Fluid HD Clear	S/S 15 mm	S/S 70 mm	S/S 105 mm	S/S 134 mm	F/B 11 mm	F/B 70 mm	F/B 105 mm	F/B 134 mm
Espessura Medida	0,37	0,35	0,33	0,33	0,45	0,41	0,36	0,35
Espessura Software	0,29	0,31	0,31	0,36	0,39	0,45	0,46	0,41
K Calculado	0,65	0,74	0,79	0,91	0,70	0,89	1,03	0,96
K Software	0,83	0,83	0,83	0,83	0,81	0,81	0,81	0,81

5.8.2.2. 28,5 g

Tabela 5.55 - Análise de K para Fusion Fluid M Cream

Fusion Fluid M CREAM	S/S 14 mm	S/S 72 mm	S/S 115.5 mm	S/S 143 mm	F/B 12 mm	F/B 72 mm	F/B 115.5 mm	F/B 143 mm
Espessura Medida	0,33	0,42	0,64	0,32	0,35	0,52	0,76	0,33
Espessura Software	0,32	0,34	0,32	0,36	0,46	0,53	0,52	0,45
K Calculado	0,75	0,64	0,40	0,88	1,01	0,78	0,52	1,04
K Software	0,79	0,79	0,79	0,79	0,77	0,77	0,77	0,77

Tabela 5.56 - Análise de K para Fusion Fluid M Clear

Fusion Fluid M Clear	S/S 14 mm	S/S 72 mm	S/S 115.5 mm	S/S 143 mm	F/B 12 mm	F/B 72 mm	F/B 115.5 mm	F/B 143 mm
Espessura Medida	0,32	0,41	0,53	0,35	0,43	0,47	0,60	0,33
Espessura Software	0,32	0,34	0,32	0,36	0,46	0,53	0,52	0,45
K Calculado	0,78	0,66	0,48	0,81	0,82	0,87	0,66	1,04
K Software	0,79	0,79	0,79	0,79	0,77	0,77	0,77	0,77

Tabela 5.57 - Análise de K para Fusion Fluid M Red

Fusion Fluid M Red	S/S 14 mm	S/S 72 mm	S/S 115.5 mm	S/S 143 mm	F/B 12 mm	F/B 72 mm	F/B 115.5 mm	F/B 143 mm
Espessura Medida	0,33	0,43	0,46	0,64	0,41	0,48	0,55	0,41
Espessura Software	0,32	0,34	0,32	0,36	0,46	0,53	0,52	0,45
K Calculado	0,75	0,62	0,55	0,44	0,86	0,85	0,72	0,83
K Software	0,79	0,79	0,79	0,79	0,77	0,77	0,77	0,77

Tabela 5.58 - Análise de K para Fusion Fluid M Squeeze Red

Fusion Fluid M Squeeze Red	S/S 14 mm	S/S 72 mm	S/S 115.5 mm	S/S 143 mm	F/B 12 mm	F/B 72 mm	F/B 115.5 mm	F/B 143 mm
Espessura Medida	0,38	0,37	0,39	0,49	0,57	0,61	0,63	0,47
Espessura Software	0,32	0,34	0,32	0,36	0,46	0,53	0,52	0,45
K Calculado	0,65	0,73	0,65	0,58	0,62	0,67	0,63	0,73
K Software	0,79	0,79	0,79	0,79	0,77	0,77	0,77	0,77

5.8.2.3. 31,6 g

Tabela 5.59 - Análise de K para Icon TK 570g

Icon TK 570g	S/S 12 mm	S/S 112 mm	F/B 12 mm	F/B 45 mm	F/B 112 mm	F/B 162 mm
Espessura Medida	0,45	0,48	0,44	0,45	0,40	0,40
Espessura Software	0,34	0,35	0,47	0,51	0,49	0,54
K Calculado	0,63	0,61	0,88	0,92	1,01	1,10
K Software	0,84	0,84	0,82	0,82	0,82	0,82

Tabela 5.60 - Análise de K para Icon HP 600g

Icon HP 600g	S/S 14,5 mm	S/S 80 mm	S/S 147 mm	S/S 190 mm	F/B 14,5 mm	F/B 80 mm	F/B 147 mm	F/B 190 mm
Espessura Medida	0,33	0,42	0,53	0,46	0,41	0,45	0,44	0,46
Espessura Software	0,35	0,36	0,35	0,41	0,50	0,53	0,50	0,43
K Calculado	0,87	0,72	0,54	0,73	0,98	0,95	0,91	0,76
K Software	0,83	0,83	0,83	0,83	0,81	0,81	0,81	0,81

5.8.2.4. 36,1 g

Tabela 5.61 - Análise de K para Fusion Fluid L RED

Fusion Fluid L RED	S/S 19 mm	S/S 100 mm	S/S 135 mm	S/S 181 mm	F/B 19 mm	F/B 100 mm	F/B 135 mm	F/B 181 mm
Espessura Medida	0,45	0,39	0,45	0,43	0,56	0,47	0,58	0,44
Espessura Software	0,30	0,31	0,31	0,39	0,49	0,56	0,55	0,51
K Calculado	0,53	0,65	0,55	0,73	0,69	0,93	0,74	0,91
K Software	0,81	0,81	0,81	0,81	0,78	0,78	0,78	0,78

Tabela 5.62 - Análise de K para Fusion Fluid L Clear

Fusion Fluid L Clear	S/S 19 mm	S/S 100 mm	S/S 135 mm	S/S 181 mm	F/B 19 mm	F/B 100 mm	F/B 135 mm	F/B 181 mm
Espessura Medida	0,45	0,41	0,45	0,40	0,55	0,48	0,65	0,48
Espessura Software	0,30	0,31	0,31	0,39	0,49	0,56	0,55	0,51
K Calculado	0,53	0,62	0,55	0,79	0,70	0,91	0,66	0,84
K Software	0,81	0,81	0,81	0,81	0,78	0,78	0,78	0,78

5.8.2.5. 41,4 g

Tabela 5.63 - Análise de K para
Heinz TDTK 33mm neck

Heinz TDTK 910g 33mm neck	S/S 12 mm	S/S 44 mm	S/S 100 mm	S/S 169 mm	F/B 34 mm	F/B 161 mm
Espessura Medida	0,48	0,47	0,39	0,34	0,58	0,51
Espessura Software	0,34	0,32	0,35	0,33	0,53	0,56
K Calculado	0,59	0,56	0,75	0,80	0,74	0,89
K Software	0,83	0,83	0,83	0,83	0,81	0,81

5.8.2.6. 53,5 g

Tabela 5.64 - Análise de K para
Heinz TDTK 38mm neck

Heinz TDTK 910g 38mm neck	S/S 12 mm	S/S 44 mm	S/S 100 mm	S/S 169 mm	F/B 34 mm	F/B 161 mm
Espessura Medida	0,44	0,51	0,53	0,37	0,53	0,56
Espessura Software	0,34	0,32	0,35	0,33	0,53	0,56
K Calculado	0,65	0,52	0,55	0,74	0,81	0,81
K Software	0,83	0,83	0,83	0,83	0,81	0,81

Tabela 5.65 - Análise de K para
Icon TK 1500g

Heinz Icon TK 1500g	S/S 14 mm	S/S 80 mm	S/S 165 mm	S/S 220 mm	F/B 14 mm	F/B 80 mm	F/B 165 mm	F/B 220 mm
Espessura Medida	0,40	0,45	0,32	0,47	0,40	0,56	0,37	0,48
Espessura Software	0,33	0,37	0,34	0,58	0,41	0,46	0,47	0,60
K Calculado	0,70	0,69	0,90	1,04	0,84	0,68	1,04	1,03
K Software	0,84	0,84	0,84	0,84	0,83	0,83	0,83	0,83

5.8.3. Garrafas de Espanha

Tabela 5.66 - Análise de K para Aldi UK 750 ml 34g

Bottle 750ml "Aldi UK" 34g	Essatura @ Canto da Base (mm)	Essatura @ Painel 28,75 (mm)	Essatura@ Panel 57,5 (mm)	Essatura @ Painel 86,25 (mm)	Essatura @ Painel 115 (mm)	Essatura @ Painel 143,75 (mm)	Essatura Ombro @ 172,5 (mm)	Essatura Ombro @ 201,25 (mm)	Essatura Ombro @ 230 (mm)
Essatura Medida	0,53	0,80	0,89	0,51	0,38	0,37	0,32	0,53	1,20
Essatura Software	0,34	0,36	0,36	0,37	0,37	0,37	0,37	0,53	1,41
K Calculado	1,24	1,76	1,96	1,10	0,82	0,80	0,69	0,80	0,68
K Software	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80

Tabela 5.67 - Análise de K para Aldi UK 750ml 41g

Bottle 750ml "Aldi UK" 41g	Essatura @ Canto da Base (mm)	Essatura @ Painel 28,75 (mm)	Essatura@ Panel 57,5 (mm)	Essatura @ Painel 86,25 (mm)	Essatura @ Painel 115 (mm)	Essatura @ Painel 143,75 (mm)	Essatura Ombro @ 172,5 (mm)	Essatura Ombro @ 201,25 (mm)	Essatura Ombro @ 230 (mm)
Essatura Medida	0,40	0,43	0,51	0,54	0,42	0,43	0,38	0,64	0,54
Essatura Software	0,44	0,45	0,45	0,45	0,45	0,46	0,45	0,65	1,43
K Calculado	0,73	0,76	0,91	0,96	0,73	0,75	0,69	0,80	0,30
K Software	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80

5.9. Gráficos DSC

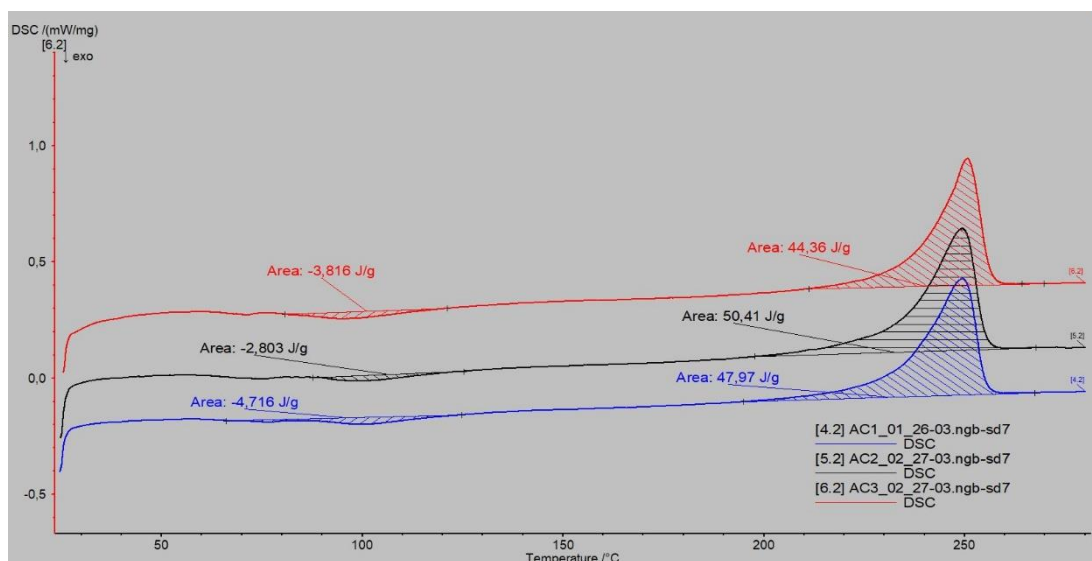


Gráfico 5.8 -Curvas DSC para amostra de Águas do Porto com pigmento, secção superior

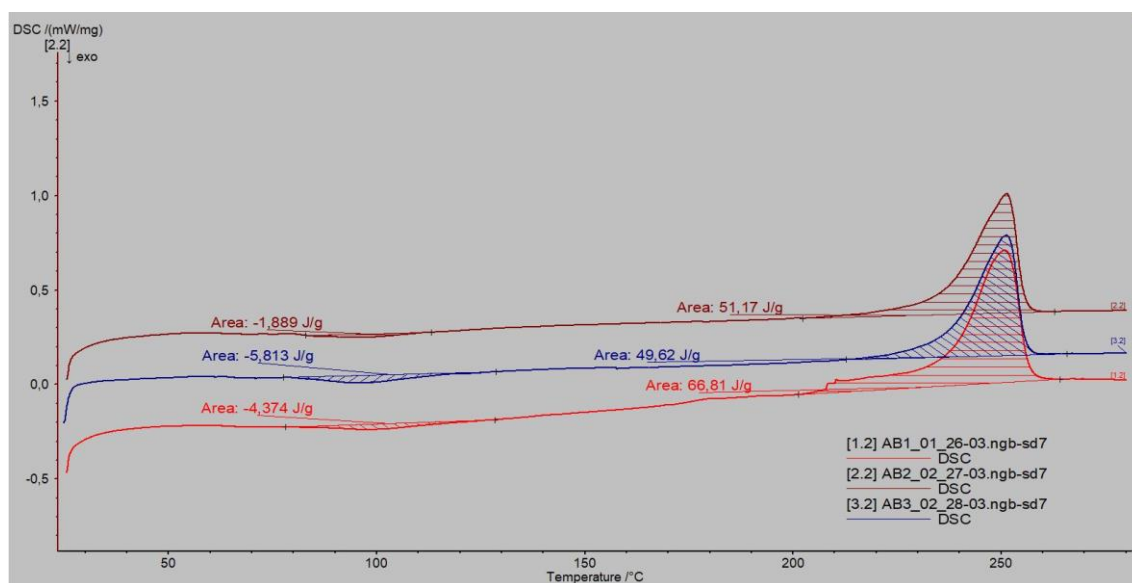


Gráfico 5.9 - Curva DSC para amostra de Águas do Porto com pigmento, secção inferior

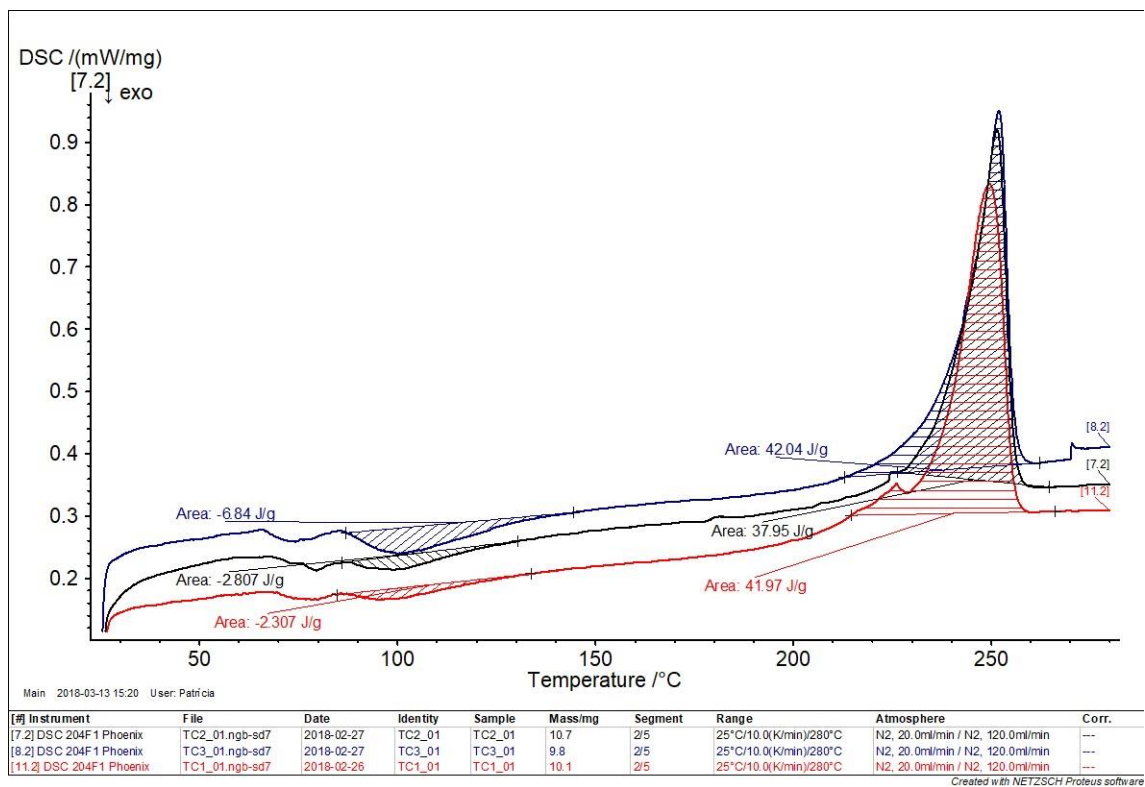


Gráfico 5.10 - Curvas DSC para amostra de Águas do Porto sem pigmento, secção superior

